

**Objektiver Nachweis motorischer
Intentionspotentiale vom Frontalhirn des
Menschen im Computer-Auto-Correlogramm**

von

Matthias Keidel

aus

Erlangen

1900

Aus dem Institut
für Physiologie und Biokybernetik
der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Prof.Dr.med.W.D. Keidel

Objektiver Nachweis motorischer Intentionspotentiale
vom Frontalhirn des Menschen im Computer-Auto-Correlogramm

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt

von

Matthias Keidel

aus

Erlangen

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg



Dekan: Prof. Dr.med. W. Kersten
Referent: Prof. Dr.med. E. David
Correferent: Prof. Dr.med. W.D. Keidel

Tag der mündlichen Prüfung: 15.12.1980

Meinem
Vater
gewidmet



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Inhalt

Seite

A. Problemstellung

- | | | |
|------|--|----|
| I. | Geschichtliche Entwicklung des Begriffes
"Willkür", Willkürbewegung, Vorstellung,
Intention. | 3 |
| II. | Funktionelle und morphologische Literatur-
angaben über die bei motorischen Willkür-
intentionen beteiligten Hirnareale | 17 |
| III. | Definition des Themas und Arbeitszieles
der vorliegenden experimentellen Arbeit:
Nachweis motorischer Intentionspotentiale
im Frontalhirn des Menschen mittels Auto-
Correlationsverfahren | 29 |

B. Methodik

- | | | |
|------|--|----|
| I. | Bedeutung des Signal-Rausch-Abstandes für
die neurophysiologische Registriertechnik | 30 |
| II. | Erläuterung der Vorzüge des Auto-Correla-
tionsverfahrens | 36 |
| III. | Verwendete Versuchsaapparatur | 44 |

C. Besprechung der Ergebnisse

- I. Beschreibung der Ergebnisse 55
- II. Daten als Diagramme und Tabellen 63

D. Diskussion der Ergebnisse 86

- I. Besprechung verwandter Hirnpotentiale 86
 - 1. Bereitschaftspotential
 - 2. Bates' Potential
 - 3. Grey Walter's CNV-Potential
 - 4. Brix's sensorisches Vorstellungspotential
 - 5. Köhler's Gleichspannungspotential
 - 6. Keidel's "Perstimulatory-Direct Current Potential" der Electric Response Audiometry
- II. Ausschaltung von Artefakten 99
 - 1. Augenbrauenmuskelpotentiale
 - 2. Muskel-Potentiale des M. levator palpebrae
 - 3. Einfluß von EKG, Atmung und r-wave

E. Zusammenfassung 103

F. Literatur 106

G. Schlußbemerkung 115

A. Einleitung

I. Geschichtliche Entwicklung des Begriffes "Willkür-Intention"

Die Jahrhundertwende zwischen dem 19. und 20. Jahrhundert - unter spätaufklärerischen Geistesströmungen, man denke an H a e c k e l, - hat die funktionelle Hirnanatomie oder die Anatomie der Hirnfunktion des Menschen stark mechanistisch betont gesehen. Sicherlich hat dabei de la M e t t r i e's "L'homme machine" - ein Jahrhundert früher - Pate gestanden, wobei es auch heute noch eine Art Renaissance dieser Perspektive gibt. Es ist deshalb voreingenommen, wenn die Physiologie der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts die intellektuell dazu antagonistischen Versuche von Männern wie v. D r i e s c h, eines typischen Vitalisten, verdammen zu müssen glaubte, also alle aristotelischen Ansätze entelechistischer Deutung des Lebendigen, jede "vis vitalis", und damit jede teleologische Sinngebung, auch des menschlichen Lebens abtun wollte. Es sind vor allem zwei Problemkreise, die H a e c k e l heute essentieller Kritik aussetzen, von einer Seite her, die um die Jahrhundertwende kein großer Geist erwartet hätte: Ich meine einmal die Kausalanalyse neoplastischer Gewebe, ganz offensichtlich ein bis heute nicht wirklich gelungener Versuch. Und ich denke zweitens an den heutigen Stand der funktionellen Hirnforschung - morphologisch wie funktionell angesetzt.

Dies ist nicht der Ort zu klären, warum ein Mann wie V i r c h o w in seiner Geschwulstlehre das Karzinom bewußt ausgelassen hat. Ebensowenig läßt sich die Interferonwirkung auf pathologische Zelldestruktion und -vermehrung mit den M e t t r i e'schen Denkmechanismen in den Kenntnisstand der heutigen Medizin einordnen. Wir glauben, daß hierbei H a e c k e l'sches Denken und V i r c h o w's Zellulärpathologie für die Möglichkeit medizinischen Denkwachses mehr geschadet als genützt hat. Interzellulärkommunikation und humorale Übertragung von Information für Geschwulstbildungen sind durch systemtheoretische, also doch aristotelisch- entelechistische Denkansätze mehr gefördert, ja erst möglich geworden, als durch rein mechanistische Deutungen der lebenden Materie per se.

Was uns in dieser Arbeit am Herzen liegt und ihr Ziel ist, ist vielmehr ein bescheidener, wenn auch kritischer Beitrag zu einem besseren Verständnis physiologischer und damit zu einer besseren Therapie pathologisch entgleister Hirnfunktion, deren Deutung ja auch derzeit in einer emotionalen Krise mechanistischer, biochemischer und pharmakologischer Manipulationsmöglichkeiten des Psychischen des Menschen - zum Guten wie zum Schlechten - steckt, wenn man etwa an Nutzen und Nebenwirkungen der heute verwendeten Psychopharmaka denkt.

Als um die Jahrhundertwende die G a l l'sche Phrenologie wieder aufgegriffen wurde und Anlaß zu dem Versuch war, einzelnen

Abschnitten der Hirnrinde ganz bestimmte Funktionen zuzuordnen, stützte man sich dabei experimentell auf zwei Verfahrensweisen, nämlich erstens die W a l l e r'sche Degeneration (Durchschneidung von Leitungsbahnen führt zu umschriebenen Degenerationen bestimmter Hirnareale) und zweitens auf elektrische Reizversuche (elektrische Reizung umschriebener Hirnareale gibt Anlaß zu bestimmten Empfindungen oder löst ganz bestimmte motorische Reaktionen aus). Dieses letztere Verfahren erwies sich, von F l e c h s i g angeregt, besonders im Motorcortex als erfolgreich. So gelang es beispielsweise F l e c h s i g und H i t z i g in ihrem berühmt gewordenen Versuch an der operativ freigelegten primären motorischen Rinde des wachen Menschen mit Nadelelektroden (schmerzfrei) zu reizen. Obgleich hirnarchitektonische Unterschiede der beiden vor und hinter der sylvischen Fissur liegenden Gyri zu jener Zeit - nach B r o d m a n n - noch nicht nachgewiesen waren, löste doch nur die Reizung im Gebiet der vorderen Zentralwindung Bewegungen, etwa das Anheben eines Beines, aus. Interessanterweise gab dabei die Versuchsperson, die ja während der Reizung gefragt werden konnte, auf die Frage, warum sie das Bein bewegt habe, an, "sie habe das eben gerade gewollt".

Diese Antwort ist aus der Sicht der Hirnphysiologie sehr viel komplexer, als sie sich prima vista anhört; Die Versuchsanordnung läßt keinen Zweifel aufkommen, daß gerade in diesem Fall eine freie Willenshandlung nicht vorliegen konnte, daß vielmehr die (artefizielle) Intention zur ausgeführten Bewegung den

Organismus von außen, eben über die Reiz-Elektrode, erreichte. Es hätte also die erwartete Antwort lauten müssen: "Etwas mir Unbekanntes hat mich gezwungen, hat mir keine andere Wahl gelassen, hat gegen meine ganz andersartigen oder überhaupt nicht vorhandenen Intentionen diese Bewegung zu meinem Erstaunen ausgelöst". Aber nichts dergleichen wurde bei irgend einem der F l e c h s i g'schen Versuche beschrieben. Gleichwohl erlaubte das Verfahren - ganz innerhalb des Zeitgeistes - ein genaues Abtasten der untersuchten Hirnwindung, so zwar, daß einem nur wenige Quadratmillimeter großen Oberflächengebiet der Hirnrinde eine ganz bestimmte Bewegung reproduzierbar zugeordnet werden konnte. Die für die einzelnen Gliedmaßen beanspruchte Rindenfläche war dabei ganz unterschiedlich groß, so daß etwa der Zunge ein größeres Rindenprojektionsgebiet entsprach als dem ganzen Oberschenkel. Diese Beobachtung wiederum gab Anlaß nach einem "motorischen Sprachzentrum" zu suchen, das von B r o c a auch gefunden wurde ganz entsprechend dem auf der sensorischen Seite des ZNS entdeckten W e r n i c k e'schen "sensorischen Sprachzentrum", das offensichtlich der Spracherkennung, dem Wort-Silben-Sprach-Verständnis im Sinne der Zentrenlehre zugeordnet werden konnte. Man war überrascht beide Zentren einseitig angelegt zu finden, beim Rechtshänder links, ohne daß zu diesem Zeitpunkt schon das Split-Brain-Problem erkannt gewesen wäre.

Indessen begann eine Zeit unermüdlicher Suche nach vollständiger funktioneller Abdeckung der Rindenoberfläche, ganz ähnlich wie

ein Jahrhundert früher der Arbeitskreis um Alexander von Humboldt und die großen Reisen in die "weißen" Gebiete des Erdglobus, etwa die genauere Entdeckung Süd- und Mittelamerikas, aber auch die Suche nach der Nord-West-Passage im hohen amerikanisch-kanadischen Norden alle Lücken der Erdoberfläche geographisch zu schließen versucht hatte. Das Ergebnis in der Hirnforschung war zunächst die Brodmann'sche, viel später die Kleist'sche Hirnarealkarte, wobei Kleist seine Angaben auf die unfreiwilligen Hirnausfallsbefunde der Schußverletzungen des 1. Weltkrieges stützte. Diese Ergebnisse wichen zwar entscheidend von jenen der Gall'schen Phrenologie ab, aber der stark mechanistische Zug der Zeit überwertete die Möglichkeit zu Einortslokalisationen im Zentralnervensystem des Menschen überhaupt. Die Verknüpfungen der Hirnareale untereinander waren zwar bekannt. Aber die dreidimensionalen Interaktionen des wachen Hirnes mit Bewußtseinstönungen, auch bei Bewegungsabläufen, etwa aus thalamischen Bereichen stammend, oder die für Intentionshandlungen motivationsgefärbten Einflüsse des Zwischenhirns und des limbischen Systems; der abschirmende Einfluß inhibitorischer "Erregungen"; der automatisierende Wirkmechanismus des extrapyramidal motorischen Systems waren weitgehend unbekannt, wurden dem Zeitgeist gemäß auch gar nicht gesucht, blieben auf jeden Fall unterbewertet.

Hinzu kam ein starker Einfluß des stärker akzentuierten positivistischen Physikalismus, der problemgeschichtlich das ausgehende

19. und das beginnende 20. Jahrhundert charakterisiert. Der jeder wahren "Intention" inhärente freie Wille war Gegenstand nicht nur philosophischen und theologischen Dogmas. Gab es ihn nicht, so gab es weder Schuld noch Sünde; denn dann wäre jede Handlung genetisch, durch Prägung und Erziehung streng festgelegt und determiniert. Es würde dann jede Berechtigung zur Strafe und Sühne, auch im juristischen Bereich, aber auch für die neutestamentliche Gnade in der Theologie fehlen. Hier findet sich eine der Grundlagen des sogenannten Kirchenkampfes am Ende des vorigen Jahrhunderts. Die Physik kannte in der Thermodynamik geschlossene und offene Systeme und ordnete jenem den ersten Hauptsatz (Robert Meyer, v. Helmholtz), diesem den zweiten (Clausius, Thomson) zu. Waren nun alle Vorgänge in einem geschlossenen System bis ins letzte Detail determiniert, eine Vorstellung, an welche der streng kausal analytisch denkende Physiker von 1900 einfach glaubte, dann gab es keinen Platz für einen freien Willen und da weder die Jordan'sche Verstärkertheorie noch die Heisenberg'sche Unschärferelation eine kontrastmindernde Ausweichmöglichkeit anboten, mußte der gedankliche Gegensatz zwischen dem klassischen Dogma der Kirche und dem neu entstandenen, nicht minder dogmatisch vorgebrachten Glauben "des positivistischen Physikalismus" gerade um die Jahrhundertwende, in der Zeit der Entstehung der Hirnkarten, hart aufeinanderprallen. Es gab keine Kompromißmöglichkeit: Entweder bestand der freie Wille mit allen theologischen

und juristischen Konsequenzen, oder er bestand nicht, dann mußte das theologische Dogma korrigiert werden. So ist es kein Zufall, daß gerade damals die Unfehlbarkeitsklausel des Stellvertreter Gottes auf Erden ex cathedra formuliert wurde. Trotzdem: die Naturwissenschaft, auch die Neurophysiologie konnte den kausal determinierten Charakter ihrer Wissenschafts-axiomatik nicht aufgeben, ohne sich selbst in Frage zu stellen.

Die Problematik der freien Intention war eine alternative Antithese von hoher Brisanz: So wie man nicht ein bißchen schwanger sein kann, so könne die Intention nicht ein bißchen frei und zugleich ein bißchen determiniert sein, so glaubte man. Merkwürdigerweise störte die Existenz des Bewußtseins die positivistische Physik nicht, obgleich ihre, jederman evidente Erscheinung, jedes Sinnesphänomen etwa, viel mehr hätte ins Auge fallen müssen als der Intentionalismus, der ja nur Teil des beschriebenen Phänomenalismus sein kann, auf das zentrale Nervensystem angewendet das motorische Korrelat zur sensorischen Empfindung darstellt, die wiederum zu jener Zeit von v. K r i e s, H e r i n g und anderen Sinnesphysiologen schon eingehend untersucht und abgehandelt worden war. Ein Grund für diese Merkwürdigkeit könnte die jahrhundertealte Selbstverständlichkeit der vermeintlichen Existenz der "res cogitans" lange vor der "res extensa" D e s c a r t e s', der Naturwissenschaft, sein, aus dem viel älteren Denken vom Menschen als Geistwesen christlicher Theologie entstanden. Die "res cogitans" war somit sozusagen -

einschließlich des Phänomens des Bewußtseins - "self-evident", "selbstverständlich" und brauchte einer kritischen Betrachtung daher gar nicht erst unterzogen zu werden.

Die in die Thermodynamik, also in die Energieproblematik weiterführende Konsequenz ist von R e n s c h zuerst formuliert worden: Wird ein motorischer Impuls, der durch eine Willensintention ausgelöst worden ist, ausgeführt, so stellt sich die Frage, woher er stamme. Ein völlig spontan entstehender Intensionsimpuls würde zumindest dem zweiten Hauptsatz widersprechen, nachdem die Wahrscheinlichkeit für eine sinnvolle Handlung erheblich über Null liegt, im Gegensatz zu einer rein zufälligen, die im Verhalten als abnormales, ja als psychotisches Agieren erschiene (vergleiche W i n t e r s t e i n , Studium generale 1958: Er führt diese Art "Freiheit" ad absurdum, indem er Affen auf Schreibmaschinen G o e t h e's gesammelte Werke rein zufällig produzieren oder einen Menschen aus dem Fenster springen läßt, weil dies, zufällig und damit "frei" "gewollt" worden sei): Die Wahrscheinlichkeit zu solchen Handlungen konvergiert beim Gesunden gegen Null, ohne allerdings je ganz den Wert Null erreichen zu können. Man vergleiche zu diesen Überlegungen auch von K r i e s' "Wahrscheinlichkeitsrechnung". Ein echt von außen in das System des Organismus eindringendes Intentionssignal zu einer motorischen Handlung würde also eindeutig - so klein seine Energie auch sein möge - dem Energieerhaltungssatz widersprechen:

"Jeder im engeren Sinne "spontane" Gedanke, dem doch stets Erregungsprozesse in den Hirnneuronen entsprechen, würde einen "Neubeginn" von Kausalreihen bedeuten, was sich weder mit dem Gesetz der Erhaltung der Energie noch mit der Lückenlosigkeit des Kausalprinzips vereinen ließe".

Aus dieser Problematik führt die "Konstellationstheorie" (R e n s c h) heraus, dem auch das oben angeführte Zitat entnommen ist. In dieser Theorie werden "erbliche Determinanten der menschlichen Willensabläufe" von "nichterblichen Determinanten der menschlichen Willensabläufe" (Prägungen und bedingte Reflexe (P a v l o v)) ursächlich für die Willensintention unterschieden und der dabei auftretende Bewußtseinsinhalt scheinbarer Willensfreiheit wie folgt definiert:

"Das "Freiheitsgefühl" kommt vor allem dadurch zustande, daß bei willentlichem Denken und Handeln ein häufiger, manchmal steter Bezug zum Vorstellungskomplex des eigenen ichs vorliegt und daß wir eine besondere Aktivität erleben, die sich auch rein physiologisch bemerkbar macht durch Änderungen des Elektroencephalogramms (stärkeres Auftreten von Beta-Wellen) Änderungen des Blutumlaufs und tonische Erregungen von Muskelgruppen, z.B. auch der Zunge (weil wir vorzugsweise in Wörtern denken). Bei willentlicher Aufmerksamkeit und bei willentlichen Handlungsvorsätzen kommen noch Spannungsempfindungen von seiten der Betätigten oder zu betätigenden Sinnesorgane, das heißt Attentionsempfindungen

hinzu. Das durch alle diese Komponenten entstehende "Freiheitsgefühl" tritt besonders stark dann auf, wenn das "Spiel der Motive" lange Zeit anhält, wenn die möglichen Entscheidungen, bei denen die Beziehungen zum Ich-Komplex besonders stark sind, mehrfach gegeneinander abgewogen werden. Gerade in solchen Fällen lehrt aber die Selbstbeobachtung, daß letztlich eben doch das stärkere Motiv den Ausschlag für die Entscheidung gibt. Bei schnellen und eindeutigen Entschlüssen, auch bei der Lösung einer leicht zu bewältigenden Aufgabe, fehlt dagegen das "Freiheitsgefühl" gänzlich. Weil wir uns nun aber normalerweise all der den willentlichen Ablauf beeinflussenden Faktoren nicht bewußt werden und manche begleitenden physiologischen Prozesse ohnehin nicht wahrnehmen, wird jeweils leicht eine Willensfreiheit vorgetäuscht (vergleiche Th. Z i e h e n 1927)". (R e n s c h).

Derselbe Autor stellt auch die historische Entwicklung der Auffassungen über das Problem des freien Willens zusammen. Nach ihm war in der Philosophie der Neuzeit Th. H o b b e s in seinem Werk "De corpore" 1655 der erste, der, auch alles menschliche Denken und Handeln als kausalgesetzlich bestimmt angesehen hat: "Auch die Freiheit zu wollen oder nicht zu wollen ist im Menschen nicht größer als in allen anderen Geschöpfen. Wo ein Begehren entsteht, war die vollständige Ursache dafür da" "Eine Freiheit, die Freiheit von Notwendigkeit wäre, kommt weder dem Willen der Menschen noch dem der Tiere zu". Oder wie es W i n - t e r s t e i n ausdrückt: "Wir haben zwar die Freiheit zu wollen, was wir müssen, aber wir haben nicht die Freiheit zu wollen was wir wollen".

Schon S p i n o z a hatte sich eindeutig gegen die behauptete Willensfreiheit in seiner Ethika (Pars V, Propositio I) gewandt: "Voluntas non potest vocari causa libera, sed tantum necessaria". S p i n o z a sprach zwar auch vom freien, in seinem Handeln durch die Ratio bestimmten Menschen, aber er meinte damit (nach R e n s c h) offenbar nicht eine von den kausalgesetzlichen Vorgängen unabhängige Freiheit, sondern nur eine durch Verstandesregeln determinierte Denkweise, denn seiner identistischen Erkenntnistheorie lag ganz generell die Auffassung zugrunde, daß die Verknüpfung der Vorstellungen die gleiche ist wie die der zugrundeliegenden physiologischen Abläufe. Wir würden heute sagen: einschließlich der dabei ablaufenden informationsverarbeitenden Prozesse, die nicht notwendig der an Organismen gebundenen neurophysiologischen Prozesse bedürfen (W.D. K e i d e l , 1963).

Nicht ganz so eindeutig war der Standpunkt L e i b n i t z e n's. Er schreibt zwar auch "Omnes actiones sunt determinatae", impliziert aber eine Art Freiheit insofern, als die Motive des Handelns nur "treiben", aber nicht "zwingen". Andererseits schreibt er in der Theodizee (Paragraph 45): "Selbst wenn man aus Eigensinn sich entscheidet, um seine Freiheit zu beweisen, so ist das Vergnügen oder der Vorteil den man an einem solchen affektierten Handeln findet, einer der Gründe (Causae), die dazu veranlassen".

Auch K a n t war einerseits der Meinung, daß das menschliche Denken (und Handeln) völlig determiniert sei ("was man sich auch in metaphysischer Absicht für einen Begriff von der Freiheit des Willens machen mag, so sind doch die Erscheinungen desselben, die menschlichen Handlungen nach allgemeinen Naturgesetzen bestimmt" ("Idee zu einer allgemeinen Geschichte in weltbürgerlicher Absicht" 1784). Aber für ihn war der Wille auch zugleich "Ding an sich", "intelligibler Charakter", dem eine Freiheit "a Priori" zukäme. Wir wissen heute mit Konrad L o r e n z, daß K a n t's Apriorismen nichts anderes sind als die "angeborenen Verhaltensweisen" und gerade diese sind zwar hemmbar und bahnbar, aber doch gerade in ihrem streng genetischen, starren Muster (man denke an den Zug der Lemminge ins Meer der Norwegischen Fjorde, oder an den Zwang zum Auffliegen eines Vogelschwarmes, wenn nur ein Tier die Flügel hebt) eben doch streng determiniert. Die beschriebene Trennung muß bei K a n t also als Tribut an den ethizistischen Theologismus seiner Zeit verstanden werden, jedenfalls aus neurophysiologischer Sicht.

Ähnlich nimmt S c h o p e n h a u e r einerseits an, daß "das Gesetz der Motivation ebenso streng sei wie das der physiologischen Kausalität, es führe also einen ebenso unwiderstehlichen Zwang mit sich". Andererseits nahm er aber an anderer Stelle einen dem Kausalgesetz nicht unterworfenen Willen als "Ding an sich" an.

Unter den späteren Philosophen sind die Meinungen über die Willensfreiheit geteilt. Reine Deterministen waren natürlich die Philosophen der Aufklärungszeit (De la Mettrie, H o h l b a c h, H e l v e t i u s, L a p l a c e und V o l t a i r e). Ähnliche Auffassungen vertraten die Materialisten des 19. Jahrhunderts wie V o g t, B ü c h n e r, M o l e s c h o t t und andere. Später schließen sich an zum Beispiel A. R i e h l und vor allem W. W u n d t und Th. Z i e h e n. So schreibt W u n d t beispielsweise: "Wir können nicht denken, wie wir wollen, sondern wir müssen denken, wie die gerade vorhandenen Assoziationen bestimmen" (Leitfaden der physiologischen Psychologie, 12. Auflage 1924).

Den schon allgemein geschilderten Zeitgeistströmungen entsprechend gab es indessen eine Parallelgruppe von Denkern, die "eine wenigstens beschränkte Willensfreiheit" annahmen, "weil pädagogische Maximen, ethische Verantwortlichkeit, juristische Notwendigkeiten und religiöse Überzeugungen dies zu fordern schien" (R e n s c h, 1968). Hierzu gehören so bedeutende Naturforscher wie E. von H a r t m a n n, O. K ü l p e und vor allem Max P l a n c k. P l a n c k's Lebensauffassung verlangte beispielsweise - ganz im Sinne K a n t's - eine gewisse beschränkte Willensfreiheit. Seines Erachtens müsse der Mensch wegen der praktischen Bedürfnisse feste Grundsätze haben, "statt des Kausalgesetzes das Sittengesetz, die ethische Pflicht, den kategorischen Imperativ".

R e n s c h faßt alle diese Auffassungen kritisch zusammen (1963):

"Wenn wir in vorurteilsloser Weise ein auf exakten erkenntnistheoretischen und naturwissenschaftlichen Grundlagen beruhendes Weltbild gewinnen wollen, dürfen wir aber nicht wegen praktischer Forderungen für unsere menschliche Lebensführung unbewiesene Maximen einführen. Gewiss ist es unmöglich, einen strengen Beweis der Determiniertheit von Willensabläufen zu führen. Dafür sind die menschlichen Hirnprozesse viel zu komplex, und sie sind auch hinsichtlich mitwirkender Engramme fast niemals zureichend analysierbar. Wie wir sehen werden, sprechen aber erkenntnistheoretische, humanpsychologische, tierpsychologische, physiologische, genetische und stammesgeschichtliche Befunde viel stärker gegen als für eine Willensfreiheit. Die ethischen und juristischen Bedenken sind zudem keineswegs so stichhaltig, wie meist angenommen wird".

Wir haben dem - die geschichtlich-philosophische Einführung in unser Thema damit abschließend - nichts hinzuzufügen. Lesenswert zum Thema in diesem Zusammenhang ist auch ein Artikel von W. D. K e i d e l über die "Teildeterminiertheit menschlicher Organismen" bei Echter Würzburg, 1963.

II. Hirntopologische Fragen der "Willkür-Intention"

Wir haben die vielschichtige Problematik der "Willensfreiheit" aus philosophisch-geschichtlicher Sicht so ausführlich dargestellt, weil es uns wichtig schien aufzuzeigen, daß es sich bei der motorischen "Intention" des Menschen um einen Vorgang handelt, bei dessen Entstehung ganz offensichtlich die ganze "Person" des Menschen involviert ist. So wäre die Frage nach einem Zuordnungsort innerhalb des menschlichen Zentralnervensystems von vorneherein zum Scheitern verurteilt. Doch läßt sich hoffen, daß es Prädilektionsgebiete auch innerhalb der kortikalen Repräsentation des menschlichen Gehirns gibt, die stärker in Erregung geraten als andere, wenn eine motorische Intention vorgestellt wird.

Eine recht vollständige Zusammenstellung der bis heute bekannten Hirnmantelareale und ihrer funktionellen Interpretation findet sich beispielsweise bei G o t t s c h i c k (1952) und bei T r i n c k e r (1977). Es darf davon ausgegangen werden, daß die präzentrale motorische Rinde jene Umschaltstelle intentionaler motorischer Vorstellungen ist, an der eine genaue lokale, spatiale, also räumliche Zuordnung des erregten Rindenfeldes zu einem bestimmten motorischen Erfolgsorgan in ganz systematischer Weise vorliegt, ähnlich wie dies als "tonotopische" oder "tonotope" Abbildung im sensorisch-akustischen Gebiet von F l e c h s i g, von E c o n o m o, W e r n i c k e, T u n t u r i gefunden worden ist.

B r o d m a n n und E c o n o m o , neben dem Ehepaar V o g t , waren es auch, welche die Cytoarchitektonik einzelner Gyri voneinander sauber im zellulären Aufbau zu trennen vermochten. Dazu kamen Rindenablationsversuche mit Beobachtung der Ausfallserscheinungen bis hin zu den Arbeiten der Gruppe um W.D. N e f f und J. D i a m o n d , angeregt durch K ö h l e r , die hier wesentlich zur weiteren Abklärung der Rindenfunktionen beigetragen haben. Es konnten dabei - sowohl auf der sensorischen, wie auf der motorischen Seite des Hirns - primäre, sekundäre und tertiäre Projektionsrindenfelder unterschieden werden, von denen der funktionelle Komplexitätsgrad in dieser Reihenfolge ansteigt. So ist beispielsweise der präzentrale motorische Cortex nicht nur durch die genannte Tonotopie, sondern auch durch die Prävalenz der Pyramidenzellen mit ihrer charakteristischen Feinstruktur besonders prägnant akzentuiert.

Die in der Hierarchie höchst entwickelten tertiären Rindenfelder werden auch als Assoziationsrindenfelder bezeichnet, als "Integrationsorte" der Anatomen mit so komplexer Funktion, daß etwa ihre J a s p e r'schen Dendritenverflechtungen praktisch auf alle Reize der Umwelt hin erregt werden können und von ihnen praktisch jede beliebige Erregungsform des Signalmusters, mit elektrophysiologischen Mitteln feststellbar, ausgehen kann.

Die geläufigste Auffassung sieht - vereinfacht - so aus, daß ein sensorischer Reiz über ein Sinnesorgan zuerst die primäre

modalitätsspezifische, etwa akustische Projektionsrinde erreicht, von dort auf die sekundäre umgeschaltet wird, wo die aktuelle Information über den Reiz mit früher gespeicherter akustischer Information verglichen wird. Sind etwa im primären akustischen Cortex die Projektionsorte noch nach Tonfrequenzen geordnet, so sind im sekundären Projektionsrindenfeld schon Sprachphoneme mit Grundton und Formanten zusammengeschaltet, so daß das Wiederauffinden eines früher gehörten Phonems erleichtert wird. Abgesehen davon, daß ähnliche Vorgänge auch schon im Corpus geniculatum des Thalamus ablaufen (Phonemdetektoren, W.D. K e i d e l, S. K a l l e r t) läßt sich hieraus ableiten, daß die sekundären Felder der Rinde offensichtlich so etwas wie ein "Brockhaus" schon gehörter Sprachlaute sind, also enzyklopädistische, aufs engste mit Speichervorgängen verknüpfte Hirnareale sind. Ähnliches gilt für das visuelle System und seine im Lauf des Lebens gespeicherten "Bilder". Daneben prägt - wie H u b e l und W i e s e l zeigen konnten und wie von W.D. K e i d e l gedeutet worden ist - dieses Rindenareal durch seine komplexen Neurone die menschliche Denkform, etwa in kartesischen oder in Polarkoordinaten der Mathematik. Sie hat also entscheidenden Einfluß auf die anthropomorphe Axiomatik unseres Denkens, unseres Umweltmodelles, das wohl nur auf Grund der evolutionär bedingten Spezifität der Art solcher Neurone das vierdimensionale Kontinuum der Umwelt in den drei Raum- plus der vierten Zeitkoordinate "abbildet".

Wir haben freilich Grund zu der Annahme, daß Denken und Handeln in dieser bewußten Form erst in den Assoziationsrindenfeldern materiell neurophysiologisch repräsentiert ist. Diese tertiären Rindenfelder, als hierarchisch höchste Hirnmantelgebiete, erhalten auf der sensorischen Seite konvergente Information aus allen sekundären Feldern aller Sinnesmodalitäten. Dies ist die materielle Voraussetzung für die Entstehung aller Begriffe etwa desjenigen des "Hundes" (im Bewußtsein des Menschen), der ja nicht nur (akustisch) bellt, sondern auch eine typische (visuelle) Gestalt und einen charakteristischen (olfaktorischen) Geruch hat. Die Lebenssituation entscheidet nun, welche lokomotorische Intention die Folge eines solchen "Erkennens" eines Tieres sein kann: Handelt es sich um den getreuen Dackel, so wird eine Zuwendungslokomotion und etwa Streicheln mit der Hand intentiert. Ist es ein fremder auf den Mann dressierter Schäferhund, so kann es zur Fluchtintention kommen. Zwischen Erkennen und Handeln liegt also die ganze Spannweite der menschlichen Persönlichkeit, welche diese Entscheidung fällt.

So wird verständlich, daß das übliche Bild der Umschaltung von der tertiären sensorischen Assoziationsrinde auf das Frontalhirn als tertiäres motorisches Assoziationsrindenfeld über "lange assoziative Leitungsbahnen" und von dort über "kurze Leitungsbahnen" zum präzentralen Cortex mit Erregung der "richtigen" Pyramidenzellen, anschließende Aktivierung des motorischen Alpha- und Gammasystems der Rückenmarksvorderhornzellen und endlich

der "passenden" Muskeln, beträchtlich vereinfacht die Wirklichkeit des Geschehens wiedergibt: Thalamus, Formatio reticularis, extrapyramidalmotorisches System, Vegetativum, Kreislauf, Atmung, hormonelles System (Adrenalin) sind auf jeden Fall mitbeteiligt. Was nun für unser Thema aber am meisten interessiert ist dies: es ist nicht nur das Frontalhirn, das etwa als motorisches Assoziationsareal als Pendant zum sensorischen tertiären Assoziationszentrum angesehen werden kann. Vielmehr gerät ein ganzes System von Rindenfeldern auch subkortikaler Zentren in Erregung, wenn auch nur eine einzelne Handlung "bewußt" intentiert oder auch nur vorgestellt wird.

Bei T r i n c k e r findet sich eine hübsche Zusammenstellung der Rindenfelder mit überwiegend motorischer Funktion im Vergleich mit jenen überwiegend sensorischer Tönung (Abbildung 1a, 1b, 1c medial). Zur Konkretisierung veranschaulicht Abbildung 2 die anatomischen Bezeichnungen des Hirnmantels (nach C l a r a) und Abbildung 3 die zugehörige B r o d m a n n'schen cytoarchitektonischen Strukturen und die von ihm eingeführten Bezeichnungen der einzelnen Areale, um darüber detailliert abhandeln zu können.

Sehen wir einmal von den motorischen Sprachzentren (Area 44) und den primären präzentralen motorischen Zentren (Area 4, 6a Alpha, 6a Beta) ab, so bleiben uns demnach die B r o d m a n n'schen Rindenfelder 8, 9 und 10 auf der frontalen und



Abbildung 1 a): Motorische Rindenanteile (schraffiert) aus Lullies-Trincker. Die Area 8 und 9 sind farbig hervorgehoben.

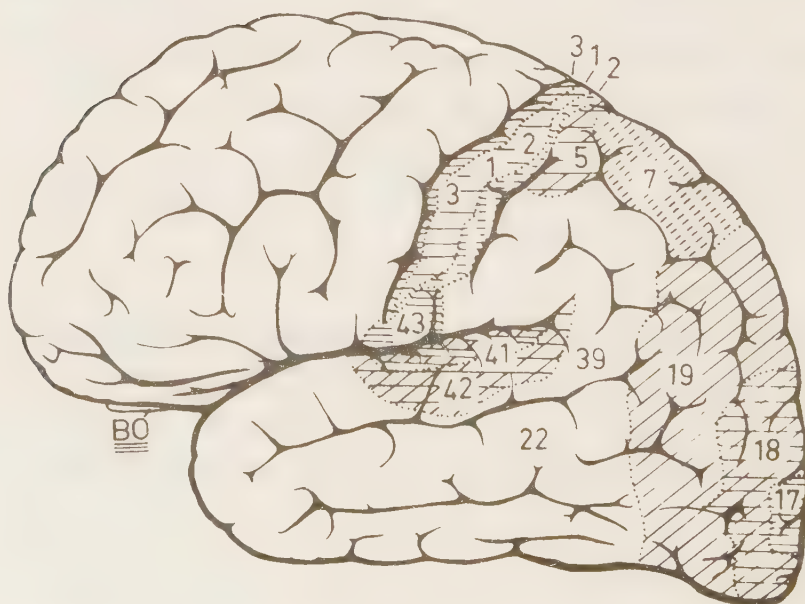


Abbildung 1 b): Sensorische Rindenanteile (schraffiert) zum Vergleich (aus Lullies-Trincker).

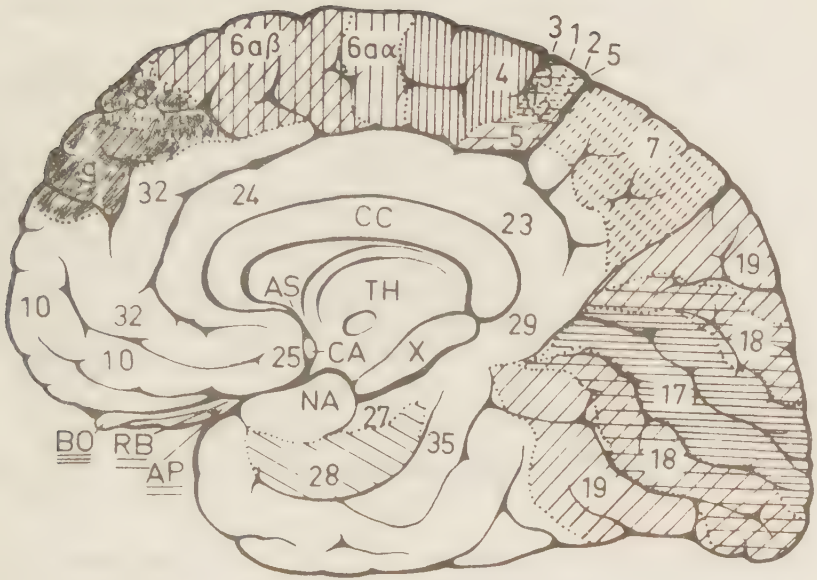


Abbildung 1 c): Rechte Hemisphäre von der Innenseite gesehen. Die Areae 8 und 9 sind farbig hervorgehoben. Aus Lullies-Trincker.

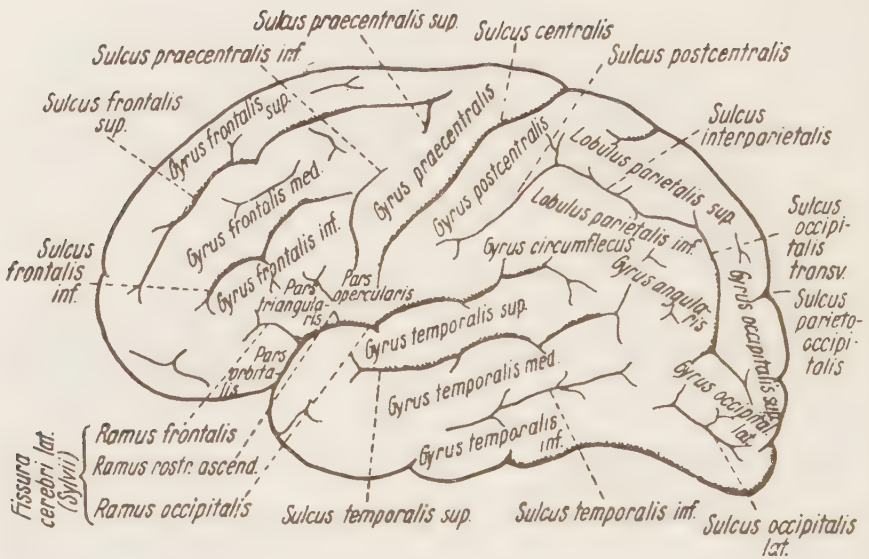


Abbildung 2 a): Hirnrindenareale nach Clara (Aussenseite).

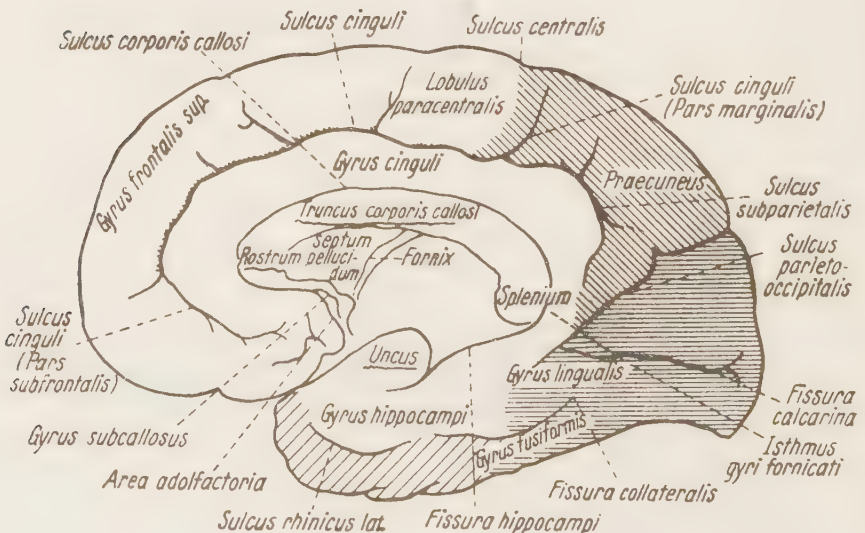


Abbildung 2 b): Hirnrindenareale nach Clara (Innenseite).
(Clara, M., Das Nervensystem des Menschen. J.A. Barth, Leipzig, 1942).

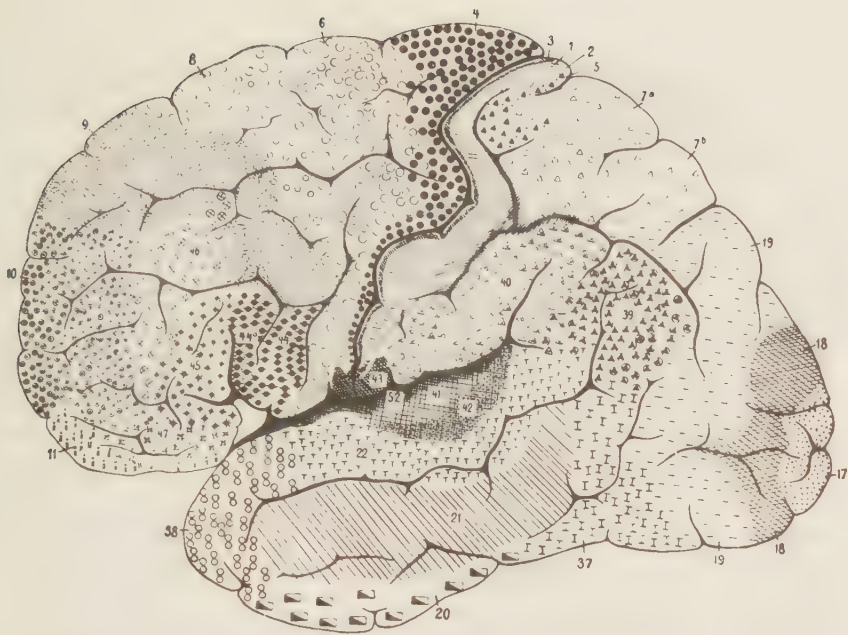


Abbildung 3 a): Hirnrindenareale nach Brodmann (Aussenseite).



Abbildung 3 b): Hirnrindenareale nach Brodmann (Innenseite).
Die Areale 8 und 9 sind gut erkennbar.

7 und 19 auf der occipitalen Seite des Gehirns übrig. Hiervon ist 7 und 19 mit den oben beschriebenen tertiären sensorischen Assoziationsfeldern identisch. Aus den dargestellten Gründen erscheint es richtig, diese Felder für die motorische Intention in Betracht zu ziehen, obgleich es sich um sensorische Areale handelt. Denn von dort geht ja der "Trigger" aus, überhaupt eine Handlung vorzunehmen. Aber dies gilt doch nur dann, wenn diese Handlung eine Reaktion auf einen sensorischen Reiz hin darstellt. Freilich sind wir im Stande dann, wenn wir in 7 und 19 schon im Laufe eines längeren Lebens Informationen gespeichert haben, auch ohne äußeren Reiz dort die Vorstellung hervorzurufen, es liege eine Lebenssituation vor, die eine Handlung erforderlich mache: Der "naive" Säugling kann nur athetotische Bewegungen ausführen, wohl ohne Intentionsvorstellungen, mit Ausnahme angeborener Verhaltensweisen, wie etwa des Saugreflexes.

Freilich wird auch beim Erwachsenen ein Wechselspiel zwischen Area 7 und 19 mit Neuronen der Area 10 erforderlich sein, also eine Bewertung durch die Gesamtpersönlichkeit, um einen sensorischen Trigger für eine motorische Handlung nicht zu inhibieren. Aus den Wirkungen der Lobotomie und bestimmter Psychopharmaka ist geläufig, daß offenbar das Frontalhirn, speziell die Area 10 im Zusammenspiel mit palaeencephalen Strukturen, sicher dem Thalamus, materielles Substrat für moralisch-ethische

Handlungs- und auch schon Handlungsabsicht-Bewertungen darstellt (G o t t s c h i c k). So verlieren quälende Schuldgefühle - ohne aus dem Bewußtsein zu verschwinden - ihren deprimierenden Charakter bei Durchtrennung der Faserverbindungen zwischen Area 10 und Thalamus (Lobotomie). Es verbleiben also für die materielle Lokalisation von motorisch-intentionalen Bewegungsmustern und deren Planung per exclusionem nur die B r o d m a n n'schen Areae 8 und 9 als "Sitz" motorischer Intentionen und Vorstellungen.

III. Themenstellung der vorliegenden Untersuchungen

Ausgehend von solchen und ähnlichen Überlegungen sind von uns experimentelle Untersuchungen durchgeführt worden, die zum Ziel hatten, mit neurophysiologischen Methoden informationstheoretisch faßbare Korrelate zu motorischen Willkür-Intentionen, also "Intentionspotentiale" mit Hilfe elektronischer informationsauswertender Maschinen in ähnlicher Weise zu registrieren, wie das mittels elektronischer Mittelwertsbildner für sensorisch evozierte Potentiale für alle Sinnesmodalitäten heute möglich ist (z.B. für akustische Signale, W.D. K e i d e l , 1962, H. D a v i s , 1965). Auf die Abgrenzung von Versuchen anderer Autoren in ähnlicher Richtung, zum Beispiel Gray W a l t e r's "Expectancy Potential" (CNV) oder K o r n h u b e r's "Bereitschaftspotential" wird in der Diskussion dieser Arbeit näher eingegangen werden.

B. Methodik

I. Bedeutung des Signal-Rausch-Abstandes für die neurophysiologische Registriertechnik

Die Entwicklung der elektronischen Datenauswertung neurophysiologischer Prozesse hat, beginnend etwa in den 50er Jahren dieses Jahrhunderts nicht so sehr die Verbesserung der Empfindlichkeit der Meßverfahren betroffen, als die Anhebung des Signal-Rausch-Abstandes. Zuvor konnte in den 30er Jahren mit Röhrenverstärkern und Kathodenstrahl-Oszillographen die untere Meßgrenze elektrischer Biopotentiale bis in den Mikrovoltbereich vorgeschoben werden. Gleichzeitig konnte die Bandbreite der verfügbaren Verstärker nach hohen Frequenzen bis über 50 kHz, nach unten hin zur Gleichspannungsverstärkung ausgeweitet werden. Die physikalische Meßgrenze ist dabei nicht durch den Gesamtverstärkungsgrad einer Registrierapparatur begrenzt, sondern durch den Umstand, daß bei hoher Verstärkung die zu messenden Signale durch das Eingangs-Widerstands-Rauschen der Meßeinrichtung verdeckt wird. Auch dann, wenn ein solcher Eingangswiderstand in der Verstärkeranordnung fehlt, weist das Meßobjekt selbst, also das biologische Gewebstück, an dem gemessen wird, einen Eigenwiderstand auf, der zu thermischem Rauschen und damit wieder zur Maskierung des Meßsignals durch das Rauschen führt. Diese Grenze ist also physikalischer, meßmethodischer Natur. Sie ist deshalb lange Zeit eine echte Begrenzung neurophysiologischer Meßverfahren geblieben.

Es gibt grundsätzlich zwei Möglichkeiten das Signal-Rausch-Verhältnis zugunsten des Signals zu verbessern: Die eine besteht darin, das Meßobjekt (theoretisch) auf 0° Kelvin zu kühlen und damit das Rauschen auf Null abzuschwächen. Dies verbietet sich an den meisten biologischen Objekten aus verständlichen Gründen. Trotzdem geht in gleicher Denkrichtung die Methodik des SQUID-Verfahrens bei der Registrierung des Magnet-Vektors des menschlichen Elektroencephalogramms (z.B. E l b e r l i n g et al. 1980).

Das zweite Denkprinzip, das wir vor allem Norbert W i e n e r am MIT verdanken, geht davon aus, daß der Determiniertheitsgrad von Rauschen und von Signalen, also ihr negentroper Inhalt, sich deutlich unterscheiden. Wiederholt man also dieselbe Messung mehrmals, so wird ein Signal, das in Rauschen verborgen ist, so wie etwa ein evoziertes kortikales Potential, in der Grundaktivität des menschlichen oder tierischen EEGs durch die Wiederholung des Meßvorgangs hervorgehoben (mit der Wurzel aus der Zahl der Wiederholungen. Ganz entsprechend wird das EEG (als "Rauschen") unterdrückt, weil es extrem unwahrscheinlich ist, daß bei der zweiten und weiteren Meßung des Signals das EEG mit jenem bei der ersten Messung identisch ist. Dementsprechend hat schon die optische Überlagerung ("superimposed technique") bei Messungen an freigelegten Katzenhirnen zu Möglichkeiten der Registrierung evozierter Potentiale geführt (B a r l o w et al., MIT, Biophysics Communication Laboratory, W.A. R o s e n b l i t h et al. 1957).

Der wirkliche Durchbruch ist aber erst durch die Anwendung elektronischer Mittelwertsbildner gelungen. Hier ist es am menschlichen Schädel möglich gewesen, Signale, die ein Zehntel bis minimal ein Fünfzigstel der Größe des EEG hatten, klar zur Darstellung zu bringen (Zusammenfassungen siehe W.D. K e i d e l, P. F i n k e n z e l l e r et al.).

Freilich sind auch den neu verfügbaren Methoden Grenzen gesetzt, die sich wie folgt aufzeigen lassen: Das elektronische Mittelungsverfahren setzt nämlich aus prinzipiellen Gründen ein periodisches Reizsignal voraus, das zugleich als Anfangspunkt, als sogenannter "Trigger" für den Datenverarbeitungsvorgang benützt wird. Die Folge hiervon ist wiederum, daß der mit Zeitlatenzen behaftete Reiz an den Sinnesorganen notwendig eine Wahrnehmung, eine "Perzeption" im Sensorium des ZNS auslösen muß, die, wie wir heute wissen, stets von einer ganzen Gruppe evozierter Potentiale in den zugehörigen Projektionsrindenfeldern begleitet ist. Die Mittelungstechnik ist deshalb methodisch auf die Registrierung von sensorischen Biopotentialen beschränkt. Motorische zentralnervöse Vorgänge dagegen produzieren ihr "Startsignal" selbst und können prinzipiell nicht ohne Kunstgriffe als Trigger periodisch wiederholter Mittelungsschritte verwendet werden.

Nun hat Norbert W i e n e r mit seiner Arbeitsgruppe die zwar im Prinzip bekannten, für neurophysiologische Zwecke aber nicht

angewandten Verfahren der Cross- und Auto-Correlation Ende der 40er Jahre als Mittel angegeben aus stark verrauschten Signalquellen periodische Signale herauszufiltern, etwa auch für die Astronomie Radiofrequenzen entfernter Sterne aus dem allgemeinen Rauschen. Gegenüber dem arithmetisch linear arbeitenden Mittelungsverfahren ist dabei der wesentliche Vorteil der Fortfall des Erfordernisses von Triggersignalen. Nachteile sind gegenüber diesen die quadratische Abhängigkeit von der Größe der verfügbaren Signalspannung. Im Vergleich mit der Fourier-Analyse geht dabei die Phasenlage zwischen den Teilfrequenzen des Signals verloren. Fourier-Analyse und Correlationsverfahren erlauben gemeinsam auch keine Aussage über zeitliche Beziehungen von Signalfolgen, etwa über den zeitlichen Abstand zwischen einem motorischen Signal des ZNS und seiner Folge, beispielsweise der darauffolgenden Muskelkontraktion. Aus diesen Kriterien läßt sich leicht der Anwendungsbereich von Korrelationsanalysen in der Neurophysiologie eingrenzen: Man wird sich dieser Methode stets dann mit Überlegenheit gegenüber allen anderen Verfahren zur Anhebung des Signal-Rausch-Abstandes bedienen, wenn erstens die Phasenlage der Teilkomponenten eines komplexen periodischen Signals ebenso wie Aussagen über den absoluten Zeitpunkt seines Entstehens uninteressant sind und wenn zweitens periodische Trigger nicht verfügbar sind. Genau das aber sind die Bedingungen für die Registrierungsmöglichkeit des Intentionspotentiales des menschlichen

Motoriums, die wir uns zum Ziel dieser Arbeit gesetzt haben. Freilich setzt dieser Gedanke voraus, daß es gelingt eben dieses Intentionspotential willkürlich periodisch zu erzeugen. Dies ist nur über die Vorstellung einer Willkür-Intention zu motorischer Aktion und auch dabei nur dann möglich, wenn die Versuchsperson mittels ihres Zeitsinnes in der Lage ist über längere Zeitabschnitte hinweg in gleichen zeitlichen Abständen Vorstellungen und damit die zugehörigen Biosignale zu produzieren. Je genauer und je öfter ihr das möglich ist, mit anderen Worten, je länger sie synchronisierte Intentionspotentiale zustandebringen kann, desto besser ist die Chance die in ihrem Biopotential sehr kleinen Intentionspotentiale (im Nano-Volt-Bereich) aus dem verdeckenden Rauschen des gesamten Elektroencephalogramms (10 - 50 Mikro-Volt) herauszuschälen, also zu einer wirksamen Signalrauschverbesserung zu gelangen. Damit wird verständlich, daß die gestellte Aufgabe an der Grenze der physikalischen Registrierbarkeit liegen muß, daß aber auch jede Versuchsperson psychologisch aufs äußerste dabei beansprucht wird. Konzentrationsvermögen, Vorstellungsvermögen und ein besonders gut ausgebildeter Zeitsinn sind Voraussetzung für das Gelingen der Objektivierung von motorischen Intentionspotentialen. Dies ist auch der Grund dafür, warum es so lange nicht möglich war, damit zu einem erfolgreichen Ergebnis zu kommen. Würde man beispielsweise die Taktfolge der Intentionen durch einen beliebigen visuellen, akustischen, taktilen oder irgendwie

anders gearteten Sinnesreiz festlegen und damit die Aufgabenstellung für die Versuchsperson wesentlich erleichtern, dann würden die sensorischen evozierten Potentiale die motorischen Intentionspotentiale des Auto-Correlogramms völlig maskieren. Die Versuchsperson muß deshalb ohne jeden sensorischen Reiz in einer dunklen Camera silenta ihre Aufgabe durchführen.

II. Diskussion des Correlationsverfahrens

Bei den beiden Correlationsfunktionen, der Cross-Correlation oder Kreuz-Correlation und der Auto-Correlation werden jeweils zwei Funktionen der Zeit miteinander verglichen, die gegeneinander um einen festen Zeitbetrag τ verschoben sind. Die Funktionen sollen $f(t)$ und $g(t \pm \tau)$ heißen, dann handelt es sich um die Cross-Correlation, wobei $f(t)$ und $g(t)$ zwei voneinander unabhängige verschiedene Zeitfunktionen sind. Oder aber es soll sich bei der Auto-Correlation um die spezielle Form handeln, in der eine Funktion der Zeit gegen sich selber um den Zeitbetrag τ verschoben wird, so daß die beiden miteinander zu vergleichenden Funktionen die Form $f(t)$ und $f(t \pm \tau)$ haben. Bildet man das Produkt der beiden Funktionen nach der Formel $f(t) \cdot f(t - \tau)$ oder $f(t) \cdot f(t + \tau)$, so läßt sich sogleich erkennen, daß die zugehörigen Funktionen symmetrisch um den Wert $\tau = 0$ liegen müssen, wenn man nun das τ als die variable Größe, also als die Abscisse der Funktion betrachtet. Die tatsächliche Form der Auto-Correlation lautet jedoch

$$\Phi_{\tau} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^{+T} x(t) \cdot x(t \pm \tau) dt$$

wobei die Einführung des Integrals, des Differentialquotienten nach der Zeit und des numerischen Quotienten $1 : 2T$ notwendig ist, damit ein endliches Zeitstück T der Ausgangs-

funktion $f(t)$ aus der Gesamtfunktion herausgeschnitten werden kann. Führt man die genannte Rechenvorschrift an einem einfachen periodischen Kurvenstück aus, etwa an einer Rechteckfunktion, so läßt sich leicht verstehen, daß das Produkt aus der unverschobenen Rechteckkurve und der um den Betrag $\tau = 0$ zeitlich verschobenen Rechteckfunktion, die in diesem Fall mit der erstgenannten Funktion identisch ist, beim Wert $\tau = 0$ einen bestimmten und zwar bei der Auto-Correlation immer den größten numerischen Zahlenwert haben muß. Mit wachsendem τ wird dann, wenn gerade über die positiven $T/2$ -Rechtecke integriert wird das Integral des Produktes über den Differentialquotienten der Zeit immer kleiner, bis bei der Verschiebung gerade um eine halbe Periode der Rechteckfunktion das Produkt und damit auch das Integral 0, in der zweiten Halbperiode negativ geworden ist. Bei noch weiterer Verschiebung wird das Integral des Produktes zunehmend linear positiv. Der beschriebene Vorgang wiederholt sich, wenn eine Gesamtperiode eines positiven und negativen Rechteckes abgelaufen ist. Aus einer Rechteckfunktion entsteht also bei der Auto-Correlation eine Dreiecksfunktion die mit positivem Maximum bei $\tau = 0$ beginnt und mit negativem Minimum am Ende eines ganzzahligen Vielfachen der Periode endet. Zur Veranschaulichung wird eine mit der verwendeten Apparatur gewonnene auto-correlierte Rechteckfunktion im Bilde wiedergegeben. Weiterhin erlaubt diese apparative Methodik zur Durchführung der Auto-Correlationsfunktion den Ausdruck der in jedem Kanal

des Rechners enthaltenen Dezimalzahlenwerte. Diese sind im nächsten Bild beigelegt und die zugehörigen Maxima und Minima der entstandenen Dreiecksfunktion durch Umrandung der zugehörigen Zahl hervorgehoben. Aus einer Sinusfunktion entsteht bei der Auto-Correlation die Kosinusfunktion die wiederum bei $\tau = 0$ den Maximalwert aufweist. Die eben beschriebene Bedingung gilt nicht für die Cross-Correlation, da zwischen der Funktion $f(t)$ und der Funktion $g(t)$, die miteinander verglichen werden, beliebige Ausgangsphasenbeziehungen zugelassen sind, wie allgemein schon vorher erwähnt. Hierfür möge ein zweites Beispiel angefügt werden, bei dem, nun schon etwas komplizierter, zwei Electroencephalogramme miteinander verglichen werden, nämlich einmal eines am Cuneus abgeleiteten und eines über der Mitte des Schädels registrierten. Die Versuchsperson wurde dabei Lichtreizen periodisch ausgesetzt. Ohne daß der Zeitpunkt der Reizung in der Registrierung erscheint liefert die Cross-Correlationsfunktion das wiedergegebene Funktionsbild mit der Verschiebung der beiden Registrierungen gegeneinander als Abscisse. Bei der einen Ableitung enthält das EEG natürlich keine Veränderungen als Folge der periodischen Lichtblitze, während am Cuneus diese ein Maximum haben. Die Cross-Correlationsfunktion muß also die Periodizität der EEG-Veränderungen, wie sie durch die Lichtblitze ausgelöst werden, im Cross-Correlogramm enthalten. Hierbei beginnt das Cross-Correlogramm mit 0. Es darf noch einmal her-

<u>17482</u>	17189	17100	16985	16862	16777	16648	16523	16415	16296
16187	16085	15964	15877	15771	15651	15548	15419	15340	15206
15102	14986	14875	14765	<u>14654</u>	<u>14541</u>	<u>14426</u>	<u>14301</u>	<u>14202</u>	<u>14080</u>
14089	14155	14292	14391	14529	14653	14763	14883	14980	15087
15201	15324	15412	15533	15651	15735	15869	15975	16084	16203
16286	16416	16535	16602	16761	16871	16973	17089	17225	<u>17281</u>
17208	17081	16993	16852	16746	16622	16511	16390	16287	16156
16063	15965	15837	15748	15627	15532	15413	15324	15184	15106
14980	14870	14760	14634	14530	14401	14291	14155	<u>14095</u>	14122
14195	14318	14424	14549	14638	14798	14898	15030	15104	15226
15334	15453	15555	15676	15757	15885	15971	16108	16200	16310
16444	16540	16650	16774	16874	17018	17117	17209	<u>17284</u>	17177
17073	16959	16825	16714	16594	16489	16359	16254	16163	16037
15950	15816	15716	15606	15499	15387	15261	15168	15049	14955
14821	14724	14590	14494	14366	14246	14145	<u>14081</u>	14117	14225
14339	14431	14587	14691	14813	14917	15039	15153	15257	15376
15483	15571	15695	15817	15915	16035	16119	16231	16358	16458
16569	16699	16791	16902	17048	17151	<u>17243</u>	17220	17140	17042
16922	16775	16670	16541	16449	16321	16217	16100	16004	15896
15793	15670	15556	15466	15332	15235	15126	15007	14907	14802
14685	14580	14441	14336	14206	14122	<u>14076</u>	14122	14262	14367
14492	14601	14734	14823	14960	15051	15168	15278	15387	15498
15600	15723	15829	15940	16053	16158	16267	16367	16489	16581
16698	16851	16935	17035	17176	<u>17231</u>	17217	17122	17004	16881
16776	16637	16530	16415	16318	16167	16070	15973	15849	15754
15656	15543	15430	15322	15209	15099	15745			

Tabelle I: Decimalzahlenausdruck des Test-Auto-Correlogramms eines positiv beginnenden Rechtecksignals. Das Correlogramm ist dann ein Dreieckkurvenzug, der mit positivem Maximalwert beginnt. Die Minima sind hervorgehoben. TEC-Correlator. 256 Kanäle.

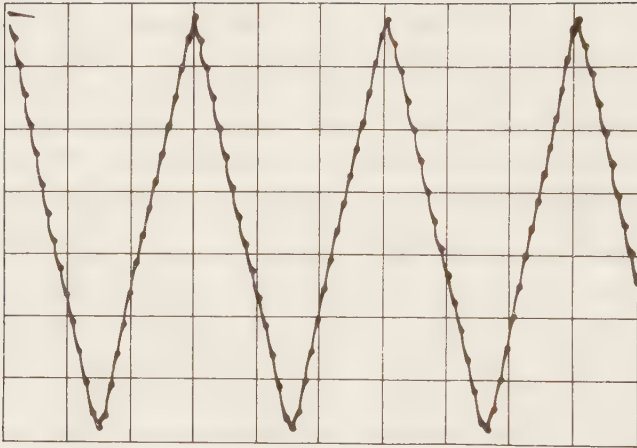


Abbildung 4 a): Photoogramm desselben Typs wie in Tabelle 1, jedoch mit einem Correlator von Hewlett-Packard mit 100 Registrierpunkten und fester Programmierung aufgenommen. Man erkennt den Maximalwert bei Tau gleich Null (Abszisse).

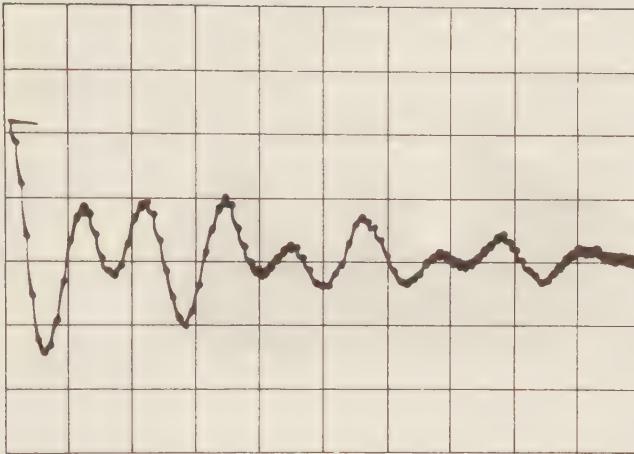


Abbildung 4 b): Photogramm von oktavgefiltertem Rauschen (Mittelfrequenz des Oktavfilters 500 Hz). Die Breite des Abszissenrasters beträgt 1 Millisekunde. Die Hüllkurve des Autocorrelogramms klingt mit steigendem Tau nichtlinear von einem Maximalwert bei Tau gleich Null auf Null ab. Festprogrammierter Hewlett-Packard-Auto-Correlator.

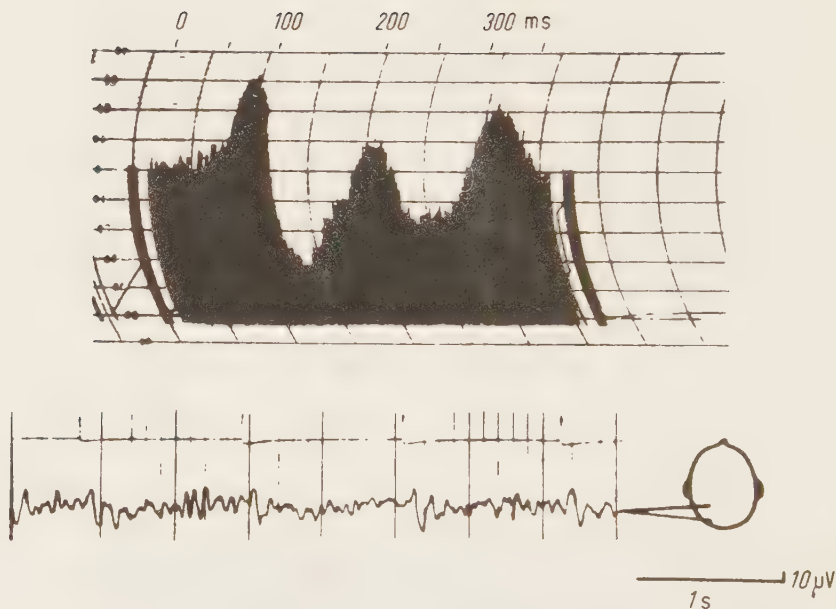


Abbildung 4 c): Cross-Correlogramm von der visuellen Rinde des Menschen auf Lichtblitze. Das Correlogramm enthüllt die Aktivität der visuellen Hirnrinde. Tau in Millisekunden. Elektrodenlage eingezeichnet. Nach Barlow aus Keidel, W.D. (1959). Correlogramme sind zwar auch bei periodischer Reizgebung möglich, wie hier gezeigt, ihre Domäne gegenüber arithmetischer Mittelung beruht aber auf ihrer Anwendbarkeit auch ohne Verfügbarkeit äußerer (sensorischer) Reize.

vorgehoben werden, daß im Unterschied zu arithmetischen Mittelungsverfahren als Zeitachse bei der Correlation die Verzögerung τ und nicht die Zeit der vorgegebenen Funktion Verwendung findet.

III. Beschreibung der verwendeten Versuchsapparaturen

In der vorliegenden Arbeit wurden drei verschiedene Versuchsapparaturen zur Durchführung der Auto-Correlation verwendet. Zum einen wurde ein festprogrammierter Auto-Correlator der Firma TMC (Technical Measurement Corporation) basierend auf einer Zusammenstellung der CAT 400 B und des Correlationszusatzes 256 benützt. Wie die dazugehörige Abbildung zeigt, lagen der Versuchsperson dabei vier Beckmann-Elektroden an und zwar zwei davon auf der Stirne und zwei am Mastoid hinter beiden Ohren. Zusätzlich war das Handgelenk mit großflächiger EKG-Elektrode unter Verwendung von Elektrodengelee geerdet. Die Mastoidelektroden wurden für diese Versuche als inaktive Elektroden angesehen. Die aktiven Elektroden waren die frontalen. Die Gründe für diese Art der Elektrodenanordnung sind in dem Einführungsteil dieser Arbeit neurophysiologisch dargelegt. Es konnten sowohl die Auto-Correlogramme der linken Stirnelektrode gegen Mastoid wie der linken Stirnelektrode gegen die rechte Stirnelektrode wie auch der linken oder rechten gegen eine in der Mitte der Stirne angelegten Elektrode registriert werden. Die Versuchsperson trug eine abgeschirmte Haube, die geerdet und mit dem Verstärkereingang verbunden war. Die Elektroencephalogramme von den genannten Punkten wurden etwa 100 000-fach verstärkt und mit den in der Zeichnung ersichtlichen Vor- und Hauptverstärkern auf ein für die Correlation ausreichendes Potential in der Größenordnung zwischen

1 und 5 V verstärkt. Die Größe dieses Potentials wurde als Eingangsgröße am Correlator oszillographisch kontrolliert. Der Ausgang des elektronischen Correlators, der die Funktionswerte in 256 Kanälen abspeicherte, konnte direkt auf dem Schirmbild der CAT 400 B oder auf dem Kontrolloszillographen beobachtet werden. Die Registrierung erfolgt über einen X-Y-Analogplotter und/oder über einen Ausdruck mit Schreibmaschine in Dezimalform zu 26 x 10 fünfstelligen Zahlengruppen.

Bei einer zweiten Versuchsreihe wurden, wie im zugehörigen Bild zu sehen ist, anstelle des TMC-Correlators ein ebenfalls fest verdrahteter Correlator der Firma Hewlett & Packard, Type 3721 A verwendet. Alle anderen Bedingungen waren mit Ausnahme des Fortfalls des Schreibmaschinenausdruckes dieselben wie bei der ersten apparativen Anordnung. Der Hewlett-Packard-Correlator unterschied sich von dem TMC-System dadurch, daß er auch ganz kurzzeitige Correlogramme durchzuführen erlaubt und aus 100 Kanälen bestand.

Endlich wurden in einer dritten Versuchsreihe mit einer Maschine der Digital Equipment Corporation, nämlich einem Rechner der Type PDP-12 mit Hilfe eines Correlationsprogrammes, das einer Variante eines kommerziell erhältlichen PDP-8 Programmes entsprach, die Versuche durchgeführt. Das zugehörige Blockschema der apparativen Anordnung ist in der ersten

Abbildung zur Methodik dargestellt. Hierbei befand sich die Versuchsperson in einer abgedunkelten Camera silenta, so daß visuelle und akustische Reize ausgeschlossen waren. Gleichzeitig wurden hierbei bis zu sieben Ableitungen des Elektroencephalogramms auf einem 7-Kanal-FM Bandgerät CEC VR 3300 on-line gespeichert. Die Datenverarbeitung, auf Bildschirm sichtbar und auf X-Y-Analogplotter festgehalten, wurde im allgemeinen on-line durchgeführt, konnte aber jederzeit offline vom Band her reproduziert werden. Bei diesem Verfahren war auch die Durchführung von Cross-Correlationen in einfacher Weise möglich.

Auch mit der apparativen Methodik der beiden anderen Anordnungen waren neben der Auto-Correlation völlig gleichwertig Cross-Correlationen zwischen verschiedenen abgeleiteten Encephalogrammen möglich, wobei deren Zahl bei diesen Anordnungen auf 2 EEG-Kanäle beschränkt war. Die Kanalzahl bei der PDP-12-Anordnung betrug 7.

Die Elektrodenanordnung erfolgte entsprechend den bekannten klassischen Schemata der EEG-Ableitung, wie sie nach C a t o n in der nächsten Abbildung wiedergegeben ist. Die aktiven Elektroden waren im allgemeinen am Frontalhirn lokalisiert.

Methodik
Schema I
PDP 12

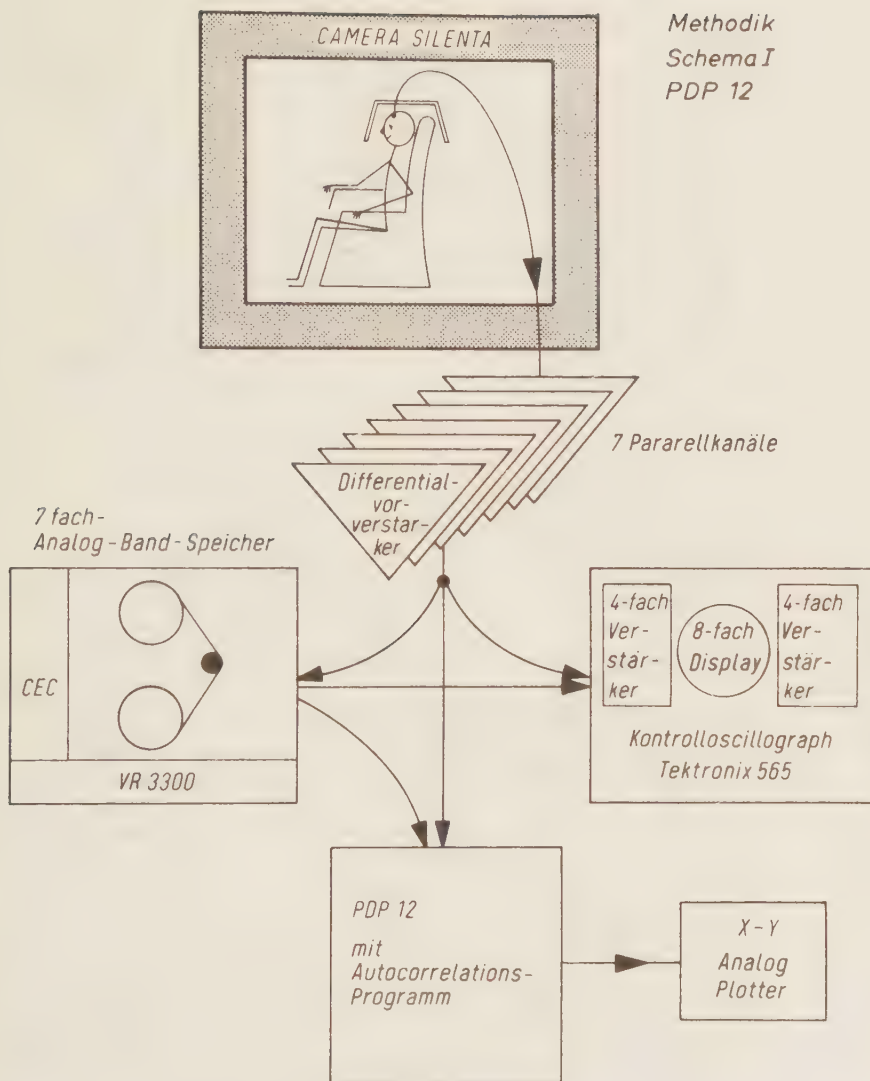


Abbildung 5 a): Blockschematische Darstellung der Meßapparatur. Die VP sitzt elektrisch und akustisch abgeschirmt in einer Camera silenta. Mit Beckmannelektroden können extrakranial bis zu sieben Elektroenzephalogramme nach etwa 100 000-facher Verstärkung abgeleitet, gleichzeitig auf Band gespeichert, oszillographisch kontrolliert und autocorreliert werden. Die so gewonnenen Auto-Correlogramme können entweder on-line auf einem Analog-Plotter (einzeln) ausgeschrieben werden oder vom Band (FM-Modulation) off-line einzeln abgerufen und autocorreliert werden. Das Verfahren erlaubt ebenso jede Art von Cross-Correlation zwischen je zwei Ableitungen. Für die Correlation wurde ein eigenes Programm entwickelt.

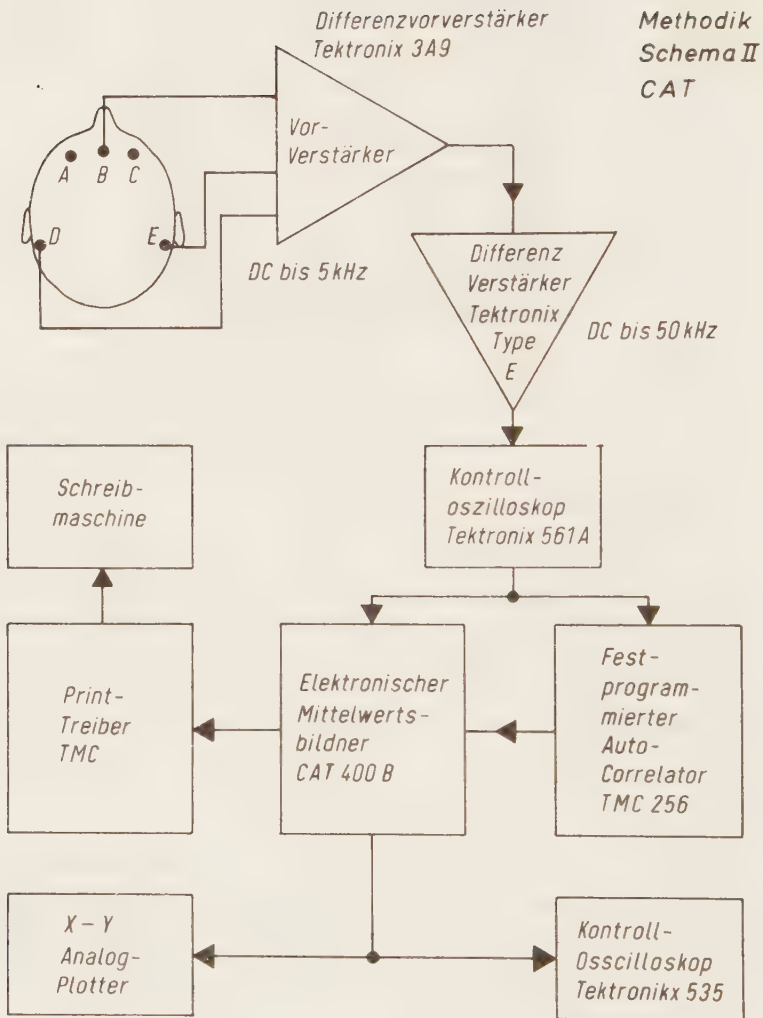


Abbildung 5 b): Modifikation unter Verwendung eines festprogrammierten Auto-Correlators der Firma TMC 256 Digitalkanälen. Mit diesem Verfahren ist auch der Ausdruck der 256 Kanalinhalt in fünfstelliger Decimalform möglich.

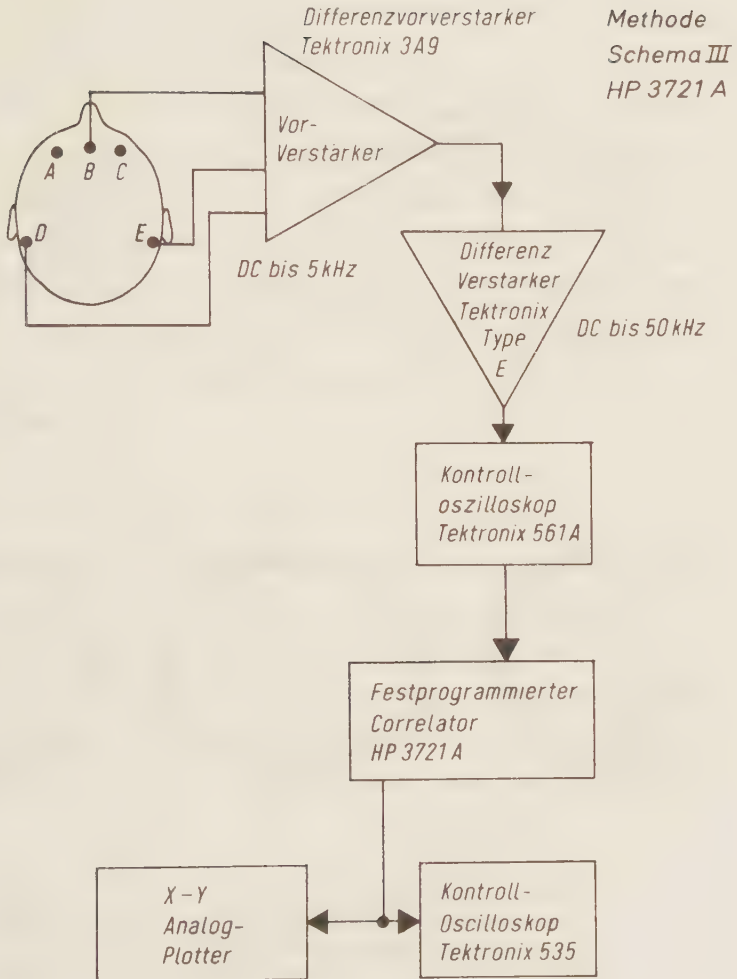


Abbildung 5 c): Modifikation unter Verwendung eines fest-programmierten Correlators der Firma Hewlett und Packard mit 100 Digitalkanälen. Hier handelt es sich um einen "schnellen" Correlator. Die Elektrodenlage ist angedeutet.

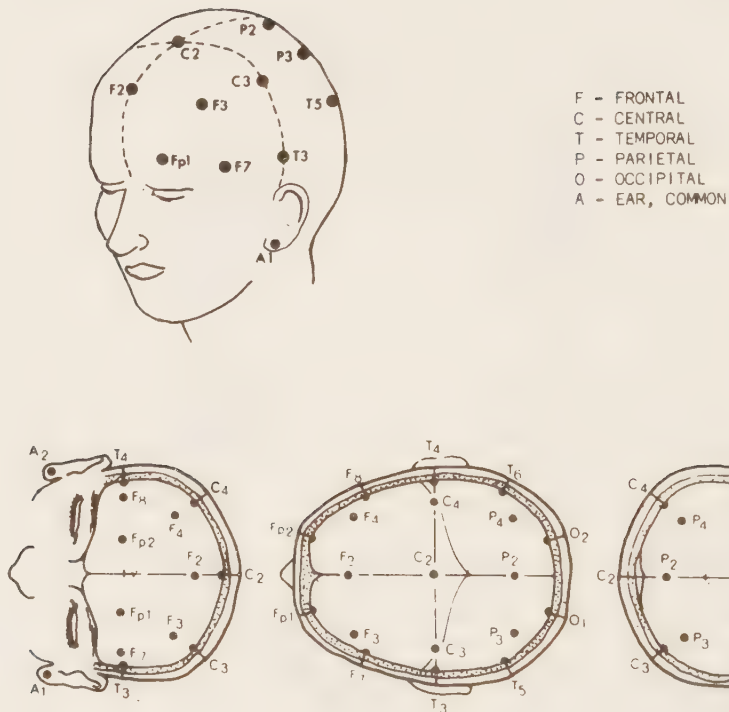


Abbildung 6: Darstellung der Ableiteorte. Es wurden alle hier eingezeichneten verwendet. Die eingehendsten Untersuchungen wurden bei Ableitung von F3 und F4 durchgeführt. A1 und A2 und beide Mastoide wurden als Mittelelektrode des Differentialeingangsverstärkers benützt. In den später angegebenen Fällen diente hierzu auch F2. Ein Handgelenk diente hierzu als großflächige Silber-EKG-Elektrode mit Elektrodengelee als Erdungspunkt der VP. Die Ableiteelektroden waren vom Beckmantyp (Ag-AgCl) mit Durchmessern unter 1 cm.

Wie schon erwähnt, ist für die Durchführung der Messungen nicht jede Versuchsperson geeignet. Vielmehr mußte eine Auswahl aus dem Angebot der Mitarbeiter und der Studierenden am Institut getroffen werden. Es wurden schließlich nur solche Versuchspersonen der Prozedur unterworfen, die sich besonders hierfür eigneten, das heißt, die über ein besonders hohes Konzentrationsvermögen und einen guten Zeitsinn verfügten. Nach diesen Kriterien wurden schließlich acht Versuchspersonen ausgewählt, mit denen die hier dargestellten Versuche durchgeführt worden sind.

Die Versuchsperson hatte dabei die Aufgabe sich unter Ausschaltung aller äußeren Sinnesreize, soweit dies in der Camera silenta möglich war, darauf zu konzentrieren sich in möglichst gleichen Zeitabständen vorzustellen die rechte große Zehe zu kontrahieren ohne aber die Kontraktion wirklich durchzuführen. Die große Zehe wurde deshalb gewählt, weil die zugehörige Muskulatur an der rechten Wade einen möglichst großen Abstand von den Ableiteelektroden am intakten Schädel der Versuchsperson haben sollte. Bei den Versuchen stellte sich heraus, daß bei unterschwelligen Intentionsvorstellungen, also lange bevor es zu einer Kontraktion der zugehörigen Wadenmuskelgruppe, sichtbar an einer Flexionsbewegung der großen Zehe kam, also bei reinen Intentionen der Bewegung, Potentiale registrierbar waren und daß bei tatsächlich durchgeführten Zehenbewegungen die zugehörigen Potentiale nur in der Größe, aber nicht in der

prinzipiellen Form, zunehmen. Es konnte sichergestellt werden, daß die hier gezeigten Potentiale ausschließlich solche waren, wie sie zur Intention von Bewegungen gehören, bei denen also keine Bewegungen der großen Zehe, visuell kontrolliert, zustandekamen. Die Vorstellungsabstände wurden zwischen 0,5 und 5 Sekunden gewählt. Als besonders günstiger Zeitabstand zwischen je zwei Vorstellungen wurden 3 Sekunden befunden. Im allgemeinen hatte die Versuchsperson die Aufgabe sich hundertmal die Zehenbewegung nacheinander vorzustellen, so daß bei einem Einzelabstand von 3 Sekunden zwischen je 2 Vorstellungen die Registrierzeitdauer in der Größenordnung von 300 Sekunden, also von 5 Minuten lag.

Die ausgewählten Versuchspersonen hatten keine Schwierigkeiten sich etwa gleichgroße Zeitabstände hundertmal vorzustellen. Sie waren vor der Durchführung des Versuches angewiesen, darauf zu achten, die Zeitabstände nicht kleiner oder größer werden zu lassen. Eine äußere Kontrolle war aus den schon ausführlich beschriebenen Gründen ausdrücklich nicht vorgesehen. Als innere Zeitgeber dürfen nach anderen Untersuchungen Clock's im Geniculatum laterale und mediale, allgemein im Thalamus des Menschen angesehen werden, der nach allem, was wir wissen die morphologische und physiologische Grundlage für den Zeitsinn des Menschen darstellt.

Bekanntlich ist es möglich, sich mit dem Vorsatz, Punkt 7.00 Uhr am nächsten Morgen aufzuwachen, schlafen zu legen. Es gibt eine Reihe von Menschen, die in der Tat in der Lage sind, diesen Weckzeitpunkt subjektiv mit Genauigkeiten von plus/minus 5 Minuten einzuhalten. Als weitere Zeitmarke beim Menschen kommen in Betracht der Herzschlag und die Atmung. Obgleich die Versuchsperson angewiesen war, weder auf den Herzschlag noch auf die Atmung zu achten, ist natürlich nicht auszuschließen, daß diese beiden Taktgeber für die Präzision der Vorstellung der Zeitabstände mit eine Rolle spielen. Versuche Cross-Correlationen mit Herzschlag und Atmungsfrequenz auszuführen, sind im Zuge dieser Arbeit nicht systematisch durchgeführt worden, da es seinerseits für die Zielsetzung nicht wesentlich war, welche Zeitgeber subjektiv Verwendung finden. Daß andererseits weder EKG noch Atmungsrespiration, also die R-Periodizität des Elektroencephalogramms, für die hier erhaltenen Auto-Correlogramme der Intentionspotentiale eine Rolle gespielt haben können, wurde durch Leerversuche ohne Vorstellungen bei gleicher Elektrodenlage sichergestellt.

Objektiv konnte die Zeitdauer des Abstandes zwischen zwei Intentionen nur mit Hilfe des Auto-Correlogramms aus dem Elektroencephalogramm bestimmt werden. Aus der Breite des später zu beschreibenden Potentials läßt sich aber ein Maß für die

Genauigkeit der Abstände gewinnen: Je präziser die subjektive Zeitgebung ist, desto schmaler muß diese Streuung im Abszissen-Wert des Correlogramms sich ausdrücken und umgekehrt, je weniger präzise, also je weniger periodisch die subjektive Zeitgebung war, desto breiter muß das Intentionspotential auseinandergezogen wiedergegeben werden. In der Tat darf davon ausgegangen werden, daß die "nicht geeigneten Versuchspersonen" konstant längere Abstände oder während der Versuchsdauer zunehmend länger werdende Abstände bei ihren Vorstellungen produzierten. Auch die Möglichkeit zunehmend kürzerer Abstände "verschmiert" das Potential. Die geeigneten Versuchspersonen waren dementsprechend durchaus in der Lage diese Fehlerbedingungen an sich selbst willkürlich zu reproduzieren mit dem Ergebnis, daß dann die Intentionspotentiale so stark zeitlich verwischt wurden, daß sie nicht mehr registrierbar waren. Auch bei ideal exakten Zeitabständen ist indessen das Potential nicht auf einen Correlationskanal beschränkt, da die zugehörigen Hirnrindenpotentiale, soweit ein Vergleich mit den hier dargestellten Intentionspotentialen erlaubt ist, selbst eine Zeitdauer um bis zu einigen Hundert Millisekunden aufweisen und daher in den hier dargestellten Kurven als über mehrere Kanäle ausgebreitete Deflektion erscheinen müssen, sichtbar als ein auf das EEG aufgesetzter "Berg" im Auto-Correlogramm. Die Amplitude des Potentials wird andererseits umso größer, je genauer die Synchronisation bei der Vorstellung des Zeitabstandes zwischen zwei Intentionspotentialen von der Versuchsperson erreicht wird und je intensiver die Intention vorgestellt wird.

C. Darstellung der Ergebnisse

Die mit den drei verschiedenen beschriebenen Auto-Correlationsapparaturen an acht Versuchspersonen in rund sechshundert Einzelversuchen mit drei Gruppen von Versuchsreihen gewonnenen Ergebnisse sind auf den nächsten Seiten unter genauer Angabe der zugehörigen Versuchsbedingungen und Registriereinzelheiten, insbesondere unter Angabe von Filterbedingungen und Ableitungsort als X-Y-Plotter-Diagramme und als Dezimalzahlenreihen, vom Rechner ausgedruckt, dargestellt. In den Abbildungslegenden sind die zugehörigen Einzelheiten der Versuchsbedingungen aufgeführt. (Abbildungen 7 bis 12; Tabellen II bis VIII).

Gestützt auf die Einzelergebnisse lassen sich hieraus folgende Schlußfolgerungen und Aussagen formulieren:

1. Das Intentionspotential für beabsichtigte motorische Bewegungsabläufe ist beim Menschen mit dem Auto-Correlationsverfahren am intakten Schädel objektiv nachweisbar.
2. Das Potential ist aufgesetzt auf das Auto-Correlogramm des normalen Elektroencephalogramms und zwar sowohl unter Bedingungen hoher, wie geringer Alertness und Vigilanz. Ebenso sind Untersuchungen durchgeführt worden, bei denen bei geschlossenen Augen Alpharhythmus am Cuneus beobachtbar war,

wie solche, bei denen bei geöffneten Augen und mäßiger Beleuchtungsstärke ohne sonstige sinnesphysiologische Einflüsse der Alpharhythmus unterdrückt und durch Beta-rhythmus ersetzt war. Auch im Zustand der "Drowsiness", allerdings nicht im REM- und Tiefschlaf, das heißt also bei Vorhandensein von Thetawellen, lassen sich im Auto-correlogramm Intentionspotentiale von dem Auto-Correlogramm des Elektroencephalogramms des Menschen klar beobachten.

3. Die Form des Auto-Correlogramms des menschlichen EEGs ist bekannt. Es weist bei dem Zeitumfang von τ , unter dem die Registrierungen durchgeführt worden sind, die Form von gefiltertem Schmalbandrauschen auf, nachdem die Amplituden für höhere Frequenzanteile praktisch vernachlässigt werden können und im wesentlichen der 10 Hz-Rhythmus überwiegt. Bei Abscissen-Zeiten für τ von 5 sec beispielsweise bedeutet das, daß die Gesamtaktivität des EEG in Ruhe bei normaler Vorverstärkung nahe dem Nullpunkt liegt. Bei einer unteren Frequenzgrenze von Null, also bei unüblicher und schwieriger Gleichspannungsregistrierung, sind auch langsamere Frequenzanteile registrierbar, wie etwa die r-Welle, die den Atmungseinflüssen zuzuschreiben ist. Aber auch alle anderen in der Literatur beschriebenen langsamen Vorgänge am menschlichen EEG, wie der K-Komplex werden dann mitregistriert und haben zur

Folge, daß insgesamt, in Übereinstimmung mit den in der Literatur beschriebenen Auto-Correlogrammen des menschlichen EEGs ihre Form durch diejenige repräsentiert wird, die in den Abbildungen dargestellt ist und zwar bei jenen Kontrollversuchsbedingungen, bei denen periodische Intentionen im Kontrollversuch von der Versuchsperson nicht durchgeführt worden sind. Dabei fällt das EEG in einer typischen Form von einem Maximalwert um den Nullpunkt herum, in hyperbolischer Form monoton zu den langen Zeiten von τ hin ab. Diese Form des EEGs konnte über allen bekannten Ableitestellen des menschlichen Schädels beobachtet werden.

4. Bei positiven Befunden, das heißt also bei der Registrierung periodischer Potentiale, die von uns als motorische Intensionspotentiale gedeutet werden, ist die Form dieser Potentiale so beschaffen, daß sie etwa derjenigen einer Gauß-Verteilungskurve ähnelt und sich in der Regel über einen Zeitraum von einer halben bis zu eineinhalb Sekunden erstreckt. Ohne die Frage zu diskutieren, ob die Form des aufgesetzten Correlogramms der Intensionspotentiale mit der Zeitform des kortikalen Potentials selber in situ übereinstimmen, können zwei Aussagen gemacht werden nämlich

- a) daß die Breite dieses Potentials zweifellos auch von der tatsächlichen Zeitform dieses Potentials mitbestimmt wird, aber
- b) im wesentlichen davon abhängig ist, wie präzise die Zeitfolge von der Versuchsperson intentional vorgestellt worden ist.

Aus den oben beschriebenen Gründen muß davon ausgegangen werden, daß die Präzision dieser "biologischen" periodischen Zeitfolge im Vergleich mit elektronisch erzeugten Zeitfolgen sehr viel schlechter ist. Insbesondere nimmt der einzelne Zeitabstand zwischen je zwei Intentionen bei manchen Versuchspersonen mit der Dauer des Versuches systematisch zu oder ab. Deshalb muß ein wesentlicher Anteil der Breite des gemessenen Potentials dieser der Methodik inhärenten Ursache zugeschrieben werden.

5. Die Größe des Potentials hängt ebenfalls von der Synchronisationsgenauigkeit aufeinanderfolgender periodischer Intentionen ab, aber auch von der Konzentrationsfähigkeit der Versuchspersonen, die sich dementsprechend geradezu in Gruppen einteilen lassen bis hin zu solchen, bei denen die Konzentration so schlecht ist, daß überhaupt kein Intentionspotential mehr registriert werden kann. Seine Amplitude sinkt dann gegenüber dem Normal-EEG-Auto-Correlogramm auf Null ab und entzieht sich damit der Beobacht-

barkeit. Dies trifft bei etwa 80 % aller untersuchten Versuchspersonen zu, mit Ausnahme der acht bereits angeführten, die in hervorragender Weise "streng" periodische Intentions-Vorstellungsreihen zu bilden in der Lage waren.

6. Die intraindividuelle Streuung einer einzelnen Versuchsperson ist erheblich, ohne daß beim gegenwärtigen Stand der Untersuchungen, die den Nachweis des Intentionspotentials überhaupt zum Ziele hatten, etwa schon statistisch signifikante Aussagen über einen Tageszeitgang, über eine Altersabhängigkeit, über die Intelligenzstufe der Versuchsperson etc. gemacht werden könnten. Solche Untersuchungen sind späteren Messungen vorbehalten.
7. Die interindividuelle Streuung zwischen den Versuchspersonen ist so erheblich, daß auch hier auf statistische Auswertungen bewußt verzichtet worden ist.
8. Die Größe des Potentials ist eindeutig vom Ort der Registrierung abhängig, daß vom Frontalhirn nach occipital hin die Amplitude kontinuierlich abnimmt, auch nicht etwa über dem präcentralen Cortex ein größeres Potential erkennen ließe als an anderen Stellen des Schädels. Vielmehr ist entsprechend den Ausgangsüberlegungen dieser Arbeit das Potential über der Glabella am größten.

9. Unterscheidungen in der Form oder Amplitude des Intentionspotentials im Sinne der Seitigkeit des Gehirns sind zwar untersucht worden, konnten aber nicht statistisch belegt werden, da die Störfaktoren psychologischer Natur, die beschrieben worden sind, eine dann nur pseudo-statistische Aussage natürlich wertlos erscheinen lassen müßten. Damit ist nicht gesagt, daß bei weiteren Untersuchungen mit größeren Versuchsreihen nicht die Möglichkeit besteht Rechts-Links-Unterschiede über der Glabella gegenüber der Mitte aufdecken zu können.
10. Artefakte durch Innervation der Augenbrauenmuskulatur sind dadurch auszuschließen, daß bei der Registrierung mit der am weitesten vervollkommeneten Methode das Programm bei Gleichspannungsregistrierung erlaubt die Registrierabschnitte, in denen derartige Muskelpotentiale enthalten wären, zu verwerfen. Ein eigenes hierfür von Herrn F i n - k e n z e l l e r entwickeltes Programm ist an anderer Stelle ausführlich in seiner neurophysiologischen Bedeutung beschrieben und diskutiert worden (W.D. K e i d e l , 1976).
11. Die Meßgröße, die im Auto-Correlogramm zur Darstellung des Intentionspotentials Anlaß gibt wird verursacht durch langsame Potentialänderungen im Frequenz-Bereich etwa um 1 Hz mit einer an der Glabella meßbaren Spannungsänderung in der

Größenordnung von etwa 6 Mikrovolt. Die Eichung der Empfindlichkeit der Gesamtapparatur einschließlich der Auto-Correlation lassen die Größe des auto-correlierten Potentials zu etwa $10 \mu\text{V}^2$ bestimmen. Nachdem die Ableitebedingungen über der menschlichen Haut infolge der elektrischen Modelleigenschaften, die bekannt sind, für die Haut sehr stark schwanken und auch von dem Zustand der Versuchsperson sehr stark abhängig sind, darf diese Angabe in ihrer Genauigkeit nicht überbewertet werden. Beim gegenwärtigen Stand der Meßmöglichkeiten ist eine quantitative Aussage, die über die Aussage der qualitativen Existenz des Potentials wesentlich hinausgeht, vorerst mit einer erheblichen Unsicherheit behaftet.

Hier führen nach unserer Auffassung nur zusätzliche Meßmethoden weiter, bei denen nicht galvanisch von der Hautoberfläche des Schädels des Menschen abgeleitet wird, sondern bei denen die auch in der Lokalisationsfähigkeit sehr viel präziser arbeitende magnetische EEG-Ableitungstechnik, die in den letzten Jahren zu einem hohen "State of Art" entwickelt worden ist, verwendet wird. Versuche in dieser Richtung sind im Gange.

12. Zusammenfassend läßt sich als wichtigstes Ergebnis der Untersuchungen feststellen, daß es mit Hilfe der Auto-Correlationstechnik und unter Beachtung der beschriebenen Versuchskautelen möglich gewesen ist reproduzierbar vom Frontalhirn ausgehende motorische Intentionspotentiale des Menschen abzuleiten und zu objektivieren.

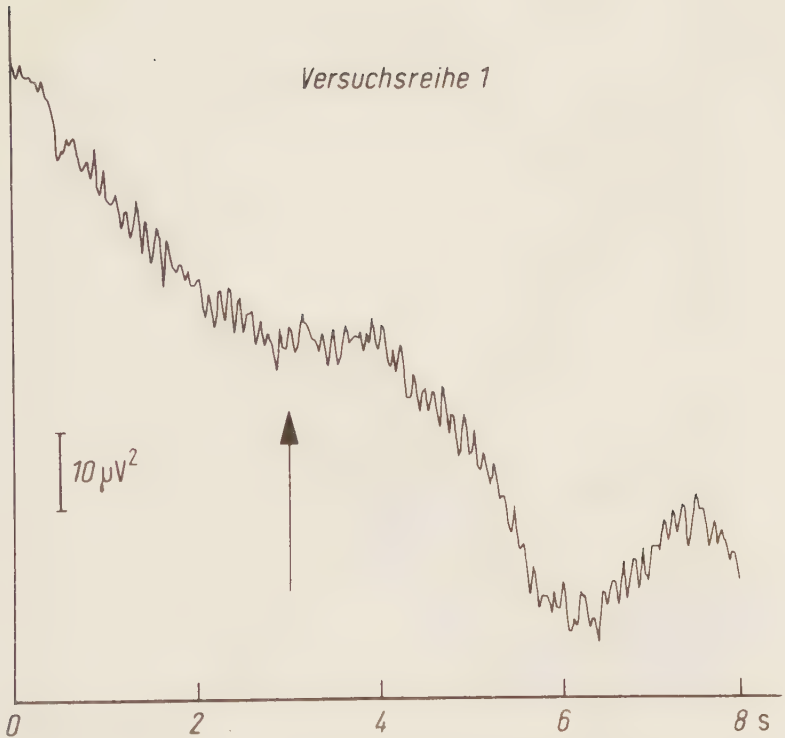


Abbildung 7 a): Zwanzigjährige Versuchsperson, weiblich, B.K. Messung des Correlogramms mit der TMC-Apparatur. Verstärkung hunderttausendfach. Untere Frequenzgrenze Null (Gleichspannung), obere Frequenzgrenze des Verstärkers 80 Hz. Ableitung mit Beckmann-Elektroden von F3 (linke Stirn frontal) gegen rechtes Mastoid im Differentialeingang des Verstärkers. Linkes Mastoid und rechts Handgelenk geerdet. Elektrische Abschirmhaube an Erde Verstärkereingang. 256 digitale Kanäle. Kanalbreite 31,25 Millisekunden. Gesamtregistrierzeit für Tau demnach 8 Sekunden. Die VP hatte die Aufgabe sich alle drei Sekunden die motorische Intention einer Bewegung der rechten großen Zehe vorzustellen. (Pfeil). Das gut sichtbare (negative) Intensionspotential beginnt bei 3 und 6 Sekunden (Tau). Es ist aufgesetzt auf das von links oben nach rechts unten monoton abfallende Auto-Correlogramm des EEG. Keine ausgeführte motorische Bewegung.

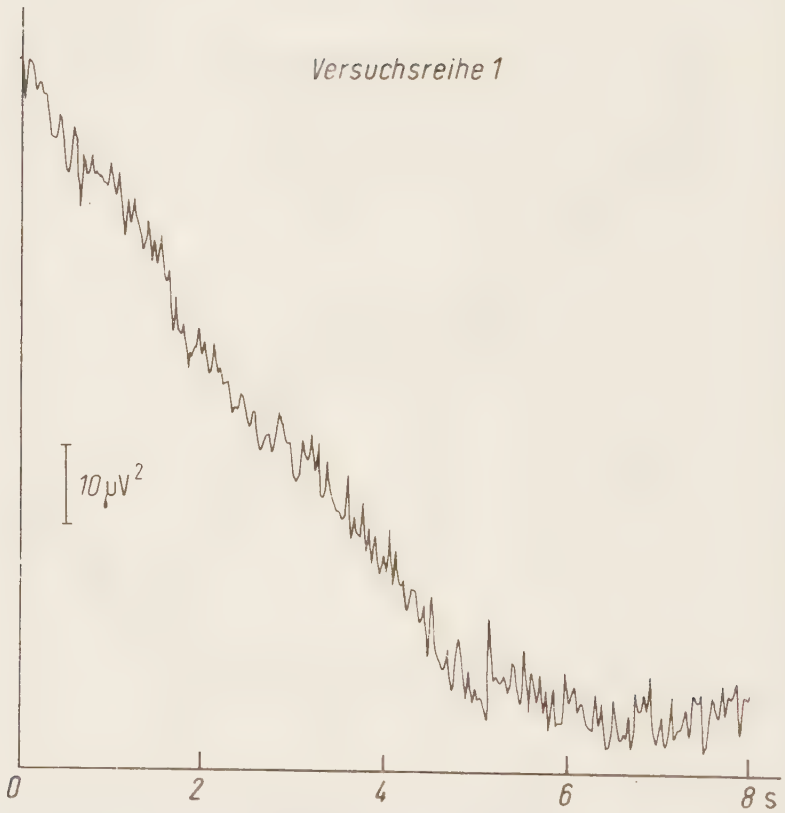


Abbildung 7 b): Alle Versuchsbedingungen wie in Abbildung 7 a), jedoch ohne Vorstellung von Intentionen motorischer Muskelaktivierungen. "Leeres" EEG zur Kontrolle.

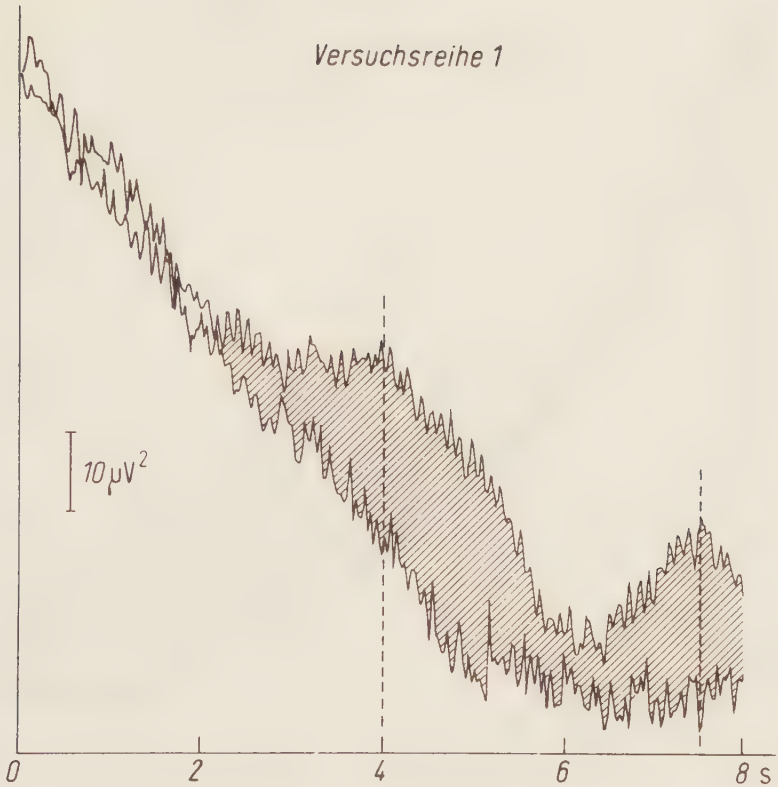


Abbildung 7 c): Differenzphotogramm der Abbildungen 7a) und 7b). Die tatsächlichen Maxima der beiden schraffiert eingezeichneten Intentionsspotentiale liegen bei 4 und 7,6 Sekunden. Der Unterschied zur Vorstellungszeit erklärt sich aus der Abweichung der freien Zeitvorstellung von der physikalischen Zeit und der (unvermeidlichen) Streuung der einzelnen vorgestellten Intervalle.

Versuchsreihe 2

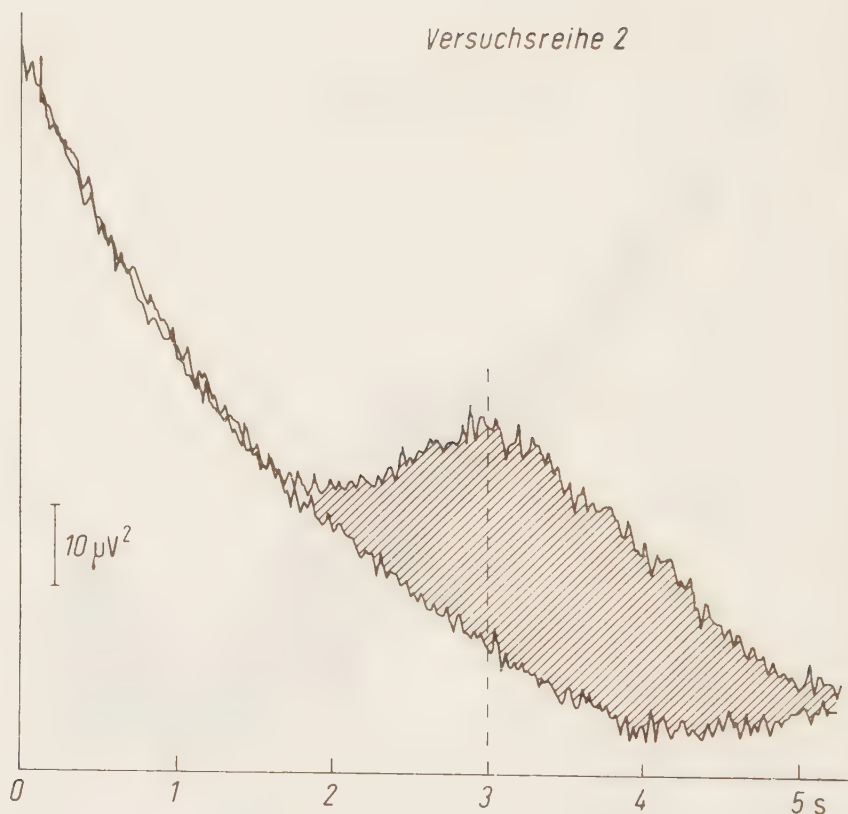


Abbildung 8 a): Gleiche Versuchsperson wie in Abbildung 7, jedoch neue Versuchsreihe bei leicht expandierter Zeitachse für Tau. Im Bild ist die Differenz zwischen dem Auto-Correlogramm und dem "leeren" EEG gezeigt, sodaß (schraffiert) das Intentionpotential besonders deutlich sichtbar wird. Die beiden zur Differenzdarstellung benutzten Auto-Correlogramme sind unter den gleichen Versuchsbedingungen wie in der Abbildung 7 gewonnen.

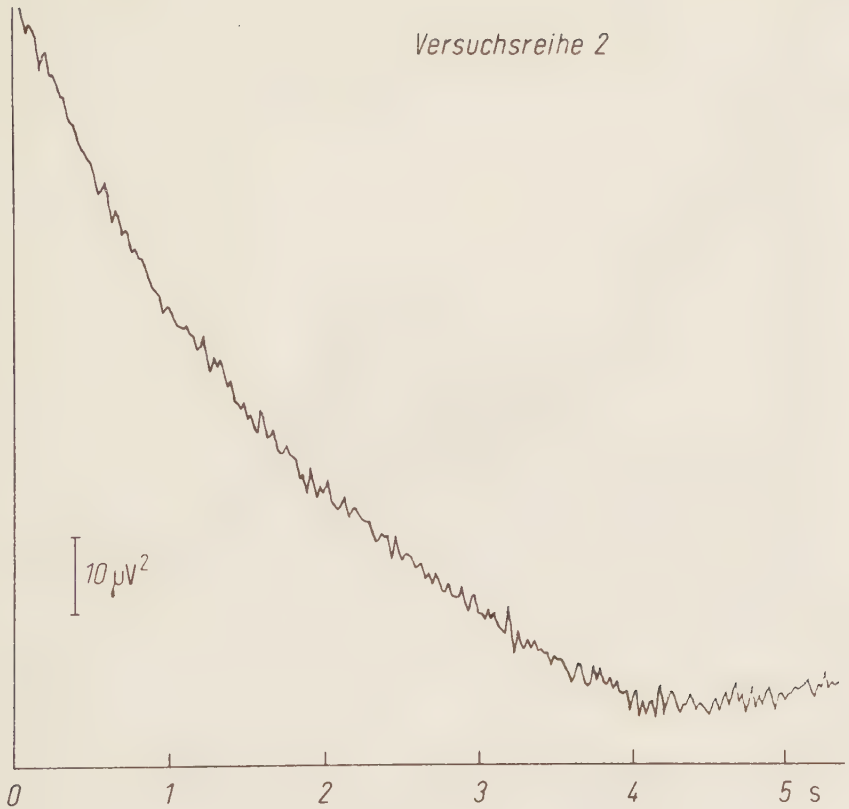


Abbildung 8 b): Auto-Correlogramm derselben VP ohne Vorstellung von Intentionen motorischer Muskelaktivierung: "Leeres" EEG. Monotoner Abfall von links oben nach rechts unten.

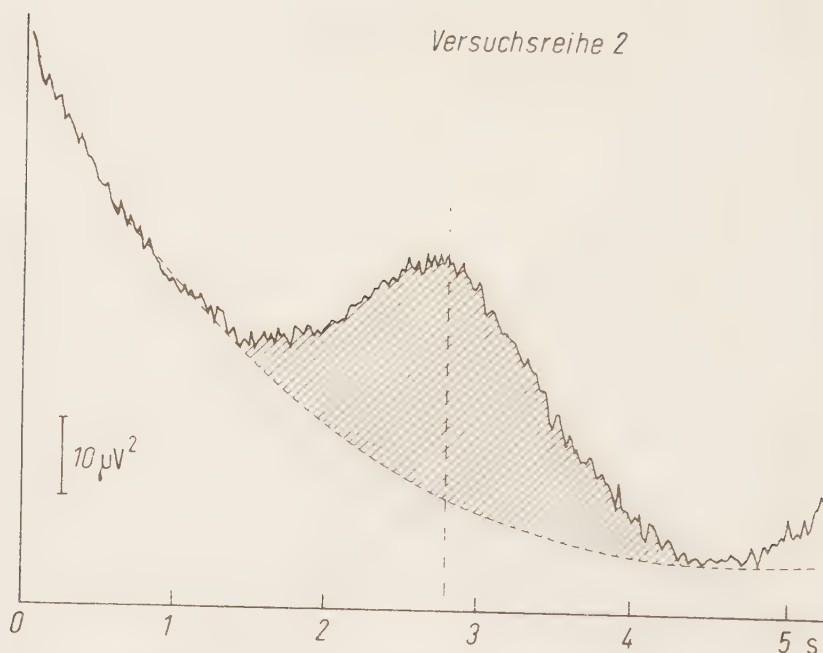


Abbildung 9 a): 59-jährige männliche VP, W.K. Messung des Correlogramms mit der TMC-Apparatur. Ableitung von Mitte frontal (F2) gegen linkes Mastoid. Rechtes Mastoid Verstärkermitte. Rechtes Handgelenk geerdet. Abschirmung mit Kopfgitterhaube an Verstärkereingang (Erde). Vorgestellte Intensionsintervalle 3 Sekunden. Verstärkerbandbreite DC bis 200 Hz. Das Leer-EEG ist gestrichelt eingezeichnet. Das Maximum des Intensionspotentials lag bei 2,8 Sekunden.

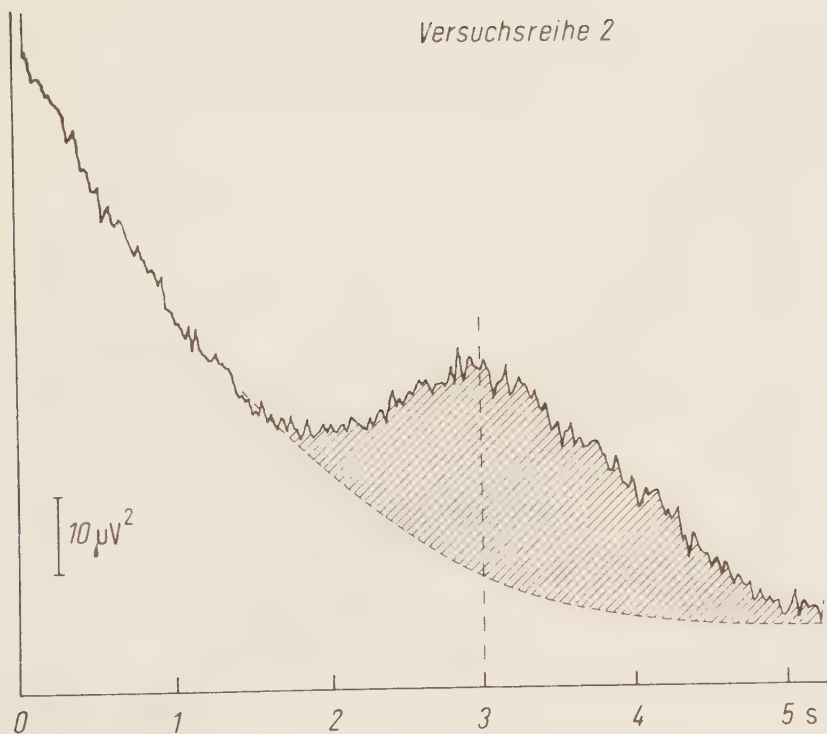


Abbildung 9 b): 44-jährige männliche VP, I. Gleiche Bedingungen wie in Abbildung 9 a). Auch das Maximum des Intensionspotentials lag hier genau bei 3 Sekunden.

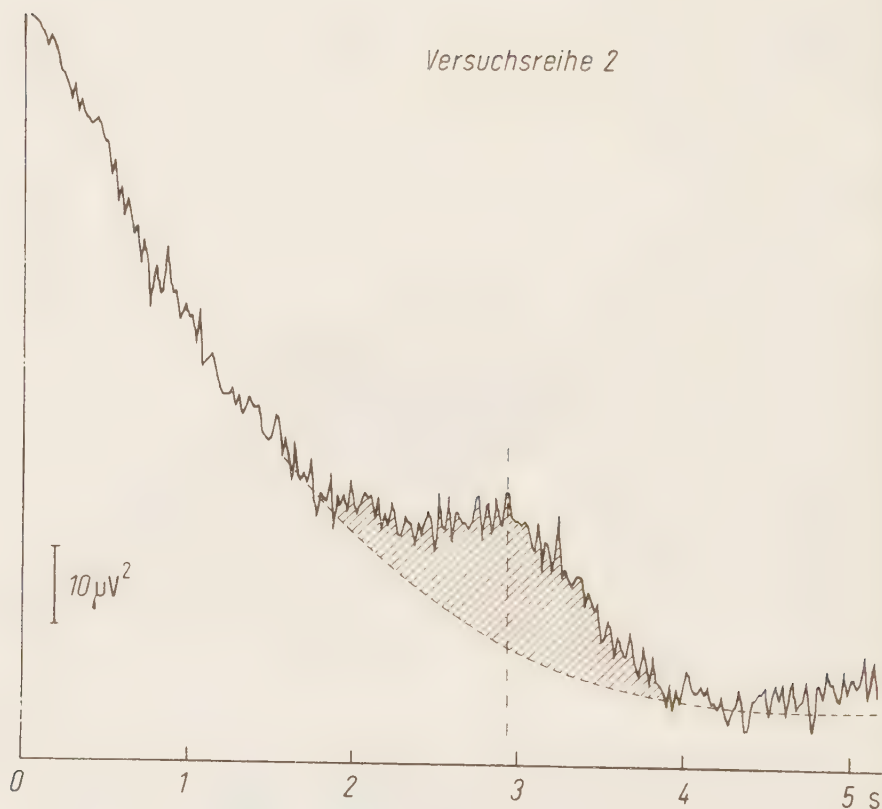


Abbildung 9 c): 17-jährige männliche VP, H.B. Gleiche Versuchsbedingungen wie in den Abbildungen 9a) und 9b). Maximum des Intensionspotentials (schraffiert) hier bei 2,9 Sekunden.

Versuchsreihe 2

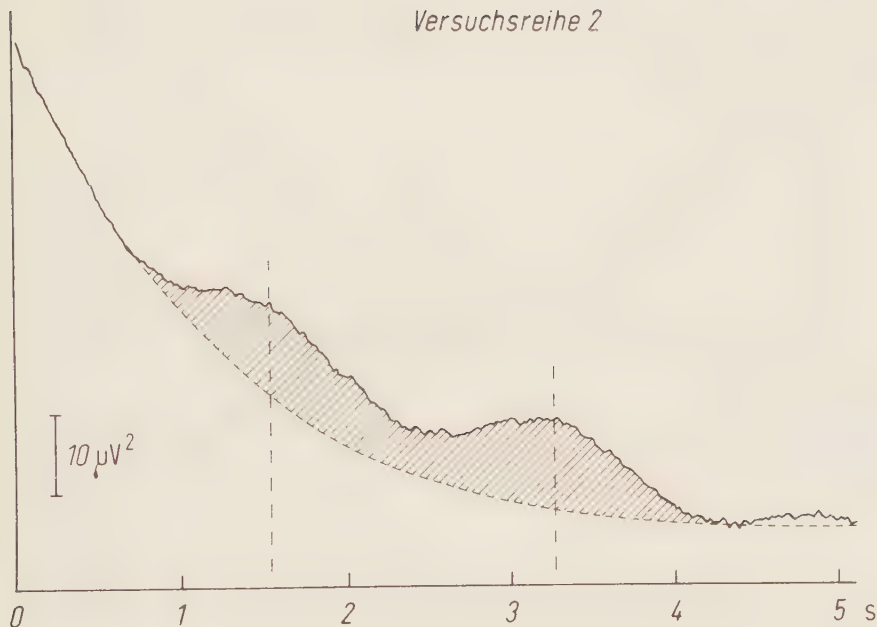


Abbildung 9 d): 59-jährige VP, W.K. Versuchsbedingungen wie in 9a) bis c), jedoch Verstärkerbandbreite 80 Hz. Geforderte Intensionsintervalle 1,5 Sekunden. Die Maxima der Intensionspotentiale liegen bei 1,6 und bei 3,25 Sekunden.

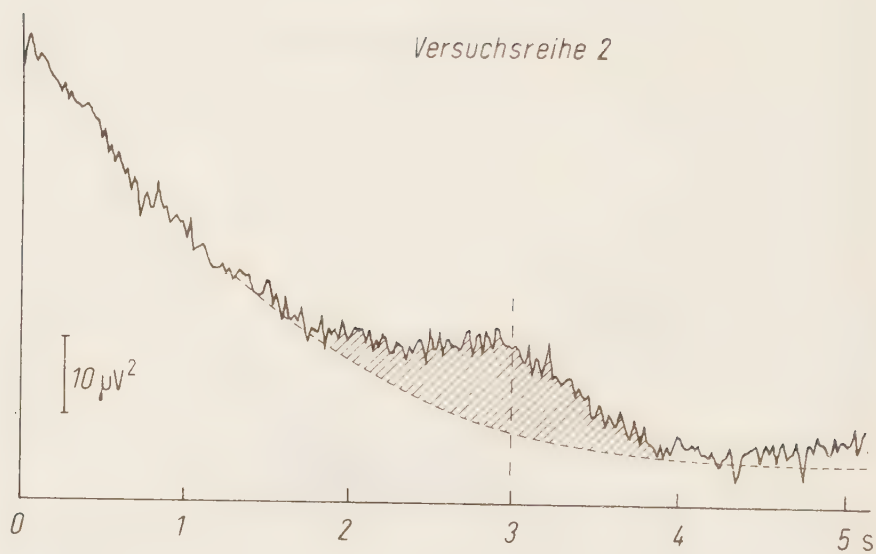


Abbildung 9 e): Alle Bedingungen wie in Abbildung 9 a),
jedoch Ableitung von C3 gegen Mastoid.

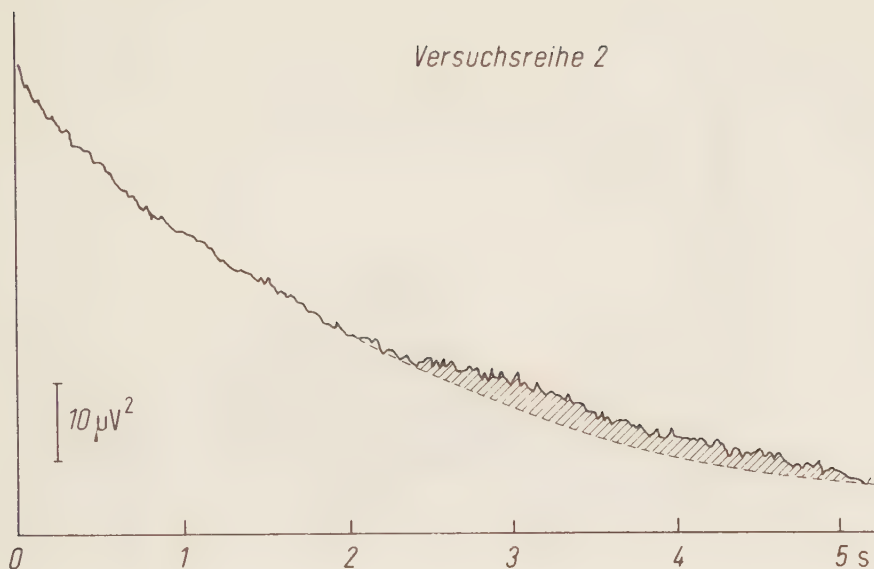


Abbildung 9 f): Alle Bedingungen wie in Abbildung 9a),
jedoch Ableitung von P3 gegen Mastoid.

Versuchsreihe 3

Band: Blocknummer 234

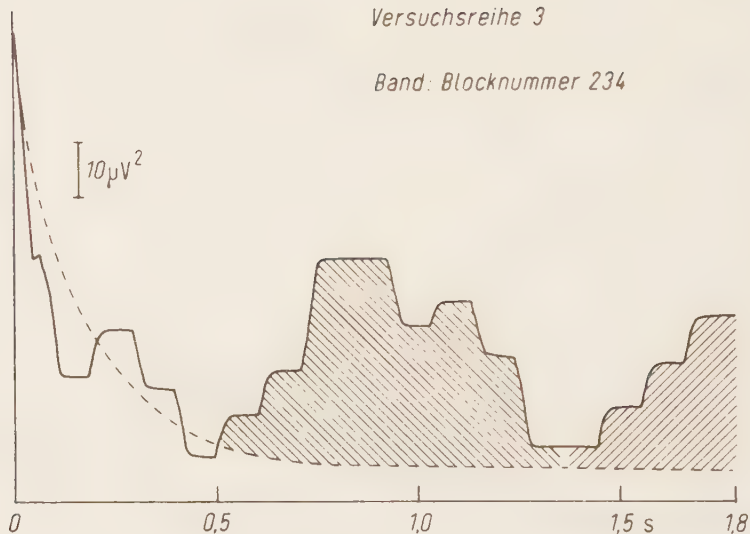


Abbildung 10 a): Messung des Correlogramms mit PDP 12 - Maschine und Auto-Correlationsprogramm. Kanalbreite Tau gleich 100 ms, 18 Kanäle. Untere Frequenzgrenze des Verstärkers bei 0,06 Hz, obere bei 80 Hz. Die (männliche) VP hatte die Aufgabe sich Intentionsintervalle von 1 Sekunde vorzustellen. Vollständige elektrische Abschirmung in Camera silenta. Die tatsächlichen Maxima der Intentionspotentiale lagen bei 0,85 und 1,7 Sekunden.

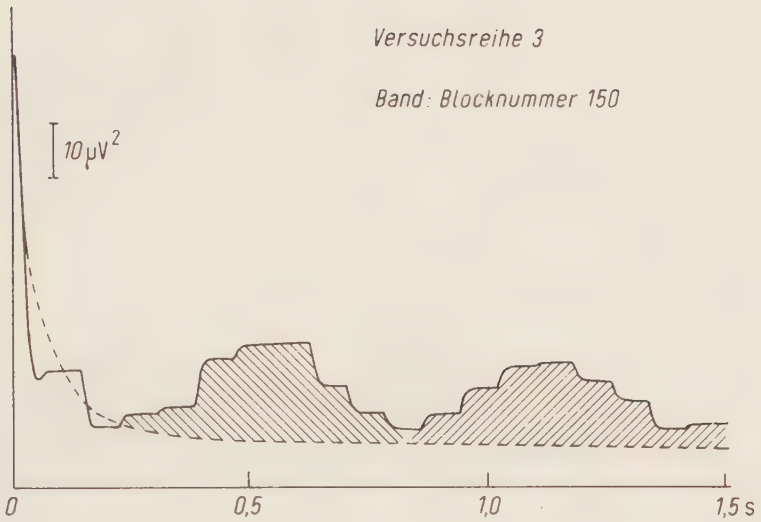


Abbildung 10 b): Versuchsbedingungen wie in Abbildung 10a), jedoch Kanalbreite 75 ms, 20 Kanäle. Vor-gestelltes Intentionsintervall 0,5 Sekunden. Tatsächliche Maxima des Intentionspotentials liegen bei 0,6 und 1,2 Sekunden.

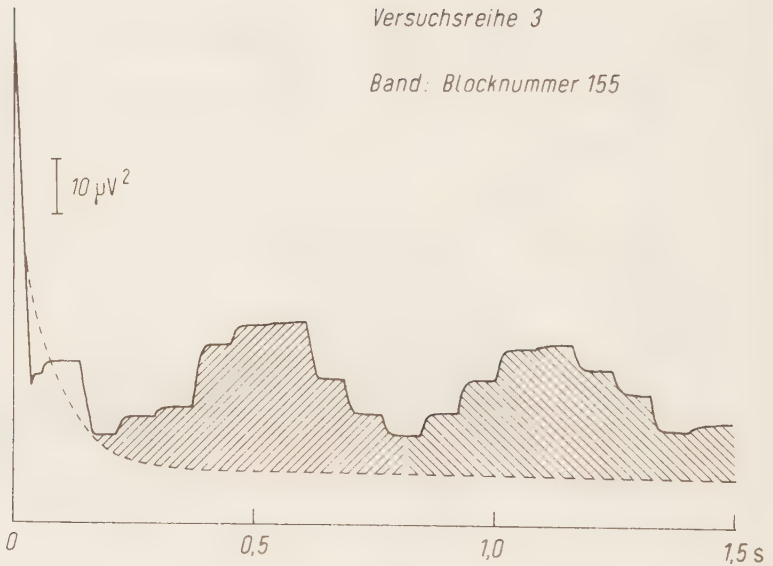


Abbildung 10 c): Gleiche Versuchsbedingungen wie in Abbildung 10 b). Es handelt sich um eine Wiederholung des Versuches der Abbildung 10 b). Ein Vergleich der Abbildungen 10 b) und 10 c) läßt die intraindividuelle Streuung erkennen.

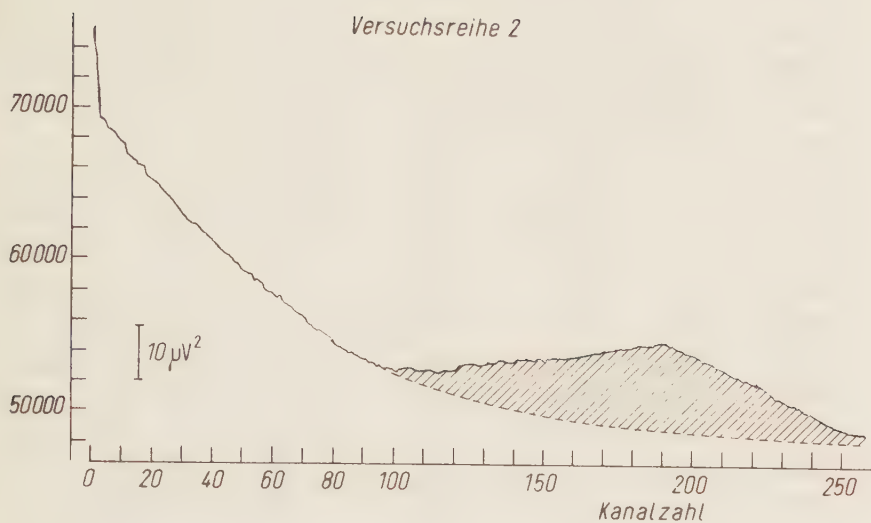


Abbildung 11: Mit der TMC-Apparatur gewonnenes Intentionspotential. In der Abszisse ist hier zur Vergleichsmöglichkeit zwischen Plotterausdruck und fünfstelligem Decimalzahlenausdruck die Digital-Kanal-Nummer aufgetragen (256 Kanäle).

75222	63640	69348	69212	68653	68474	68266	67936	67500	67554
67130	66095	66610	66351	66262	66024	65703	65574	65354	65106
64395	64683	64552	64210	64130	63824	63643	63332	63220	63046
62786	62477	62293	62241	62025	61668	61492	61528	61336	61131
60982	60785	60639	60330	60270	59908	59758	59661	59429	59313
59008	59035	58624	58596	58519	58233	57979	57982	57866	57553
57639	57318	57183	57120	56936	56637	56568	56385	56302	56244
55958	55940	55538	55567	55442	55229	55000	54966	54695	54669
54553	54414	54125	54052	54217	53985	53788	53634	53532	53371
53203	53224	53036	53099	52832	52953	53004	52820	52886	52779
52917	52874	52879	52807	52811	52934	52767	52777	52845	52735
52791	52777	52687	52719	52769	52948	52961	52899	52963	52973
53106	53119	53157	53203	53320	53285	53276	53269	53247	53334
53395	53311	53303	53408	53550	53401	53403	53399	53465	53478
53462	53499	53500	53489	53646	53459	53519	53556	53613	53535
53532	53560	53625	53499	53647	53631	53532	53752	53729	53749
53965	53962	53902	54034	54102	54015	54179	54058	54084	54168
54285	54275	54346	54297	54404	54442	54491	54538	54608	54567
54764	54654	54620	54531	54666	54668	54728	54549	54630	54570
54537	54382	54250	54238	54071	54114	53859	53854	53777	53638
53760	53600	53357	53486	53313	53212	53130	52919	52860	52788
52623	52473	52428	52287	52223	52055	51986	51982	51846	51653
51676	51473	51552	51383	51374	51268	51061	51049	50862	50788
50700	50524	50487	50505	50282	50318	50109	49951	49973	49958
49836	49687	49562	49453	49436	49399	49168	49123	49012	49025
48824	48667	48592	48580	48416	48366	48601			

Tabelle II: Decimalzahlenausdruck eines Intentionspotentials.
 VP männlich H.B. Die Werte entsprechen dem Plotter-
 ausdruck der Abbildung 11. Verstärkerfilterung
 0,06 Hz bis 200 Hz. Ableitung frontal Mitte (F2)
 gegen linkes Mastoid. Rechtes Mastoid geerdet.

72433	63769	63655	63371	62839	62495	62446	62239	61765	61510
61261	61047	60664	60332	60065	59844	59532	59353	58992	58721
58436	58175	57947	57666	57315	57233	56749	56594	56275	55955
55777	55618	55279	55167	54930	54563	54432	54274	54274	54077
54032	53887	53778	53757	53551	53579	53300	53171	53205	53065
53104	52901	52858	53043	52981	52969	52761	52815	52819	52848
52867	52864	52882	52827	52951	52870	52765	52544	52604	52634
52477	52472	52405	52384	52368	52266	52146	52337	52094	51935
51916	51941	51738	51614	51476	51275	51021	51107	50941	50709
50419	50454	50209	50175	49957	49756	49416	49479	49208	49206
49024	49202	48966	48738	48548	48524	48276	47930	47995	47846
47671	47701	47344	47140	47206	47169	46916	46953	46786	46736
46979	46877	46706	46555	46763	46719	46607	46625	46839	46742
46692	46432	46471	46573	46589	46570	46677	46661	46803	46826
46784	46940	46965	47065	46991	47132	47017	47200	47121	47255
47220	47079	46987	47197	47124	47238	47093	47229	47262	47183
47304	47162	47111	47227	47182	46969	47088	46927	46877	46859
46547	46518	46349	46368	46357	45961	45960	45733	45757	45818
45684	45610	45436	45194	45114	45075	44970	44840	44645	44612
44359	44278	44209	44121	43828	43798	43685	43569	43527	43429
43310	43348	43063	43041	43049	42844	42907	42954	42822	42664
42908	42718	42651	42702	42838	42761	42502	42685	42692	42468
42690	42769	42537	42661	42732	42766	42826	42858	42813	42978
42910	42999	42919	42958	43103	42912	42815	42851	42962	42949
42988	42950	42925	43149	42988	42895	42898	42988	42929	42766
42874	42752	42853	42612	42670	42641	35065			

Tabelle III: Wie Tabelle II, jedoch neue Versuchsreihe. Ableitung F2 gegen linkes Mastoid. Rechtes Mastoid geerdet.

64369	57646	57537	57494	57304	57349	57476	57363	57217	57004
57067	56964	56954	56750	56917	56708	56612	56742	56633	56451
56493	56513	56243	56305	56212	56133	55960	56095	55954	55838
55811	55748	55582	55521	55499	55531	55345	55248	55164	55357
55172	55030	55175	55071	54976	55054	54789	54847	54923	54761
54684	54637	54512	54514	54448	54481	54437	54331	54303	54417
54287	54345	54251	54253	54302	54203	54073	54183	53968	54176
54111	54113	53869	53877	53936	53799	53707	53798	53780	53724
53899	53685	53785	53804	53882	53761	53875	53740	53932	53824
53872	53780	53704	53950	53930	53901	53859	53965	53946	53844
53915	53860	53930	53959	54039	54014	53997	54031	54021	54158
54209	54190	54228	54231	54316	54251	54301	54391	54388	54484
54485	54413	54528	54485	54471	54615	54580	54746	54654	54602
54719	54569	54575	54783	54632	54786	54656	54807	54662	54777
54673	54691	54524	54625	54690	54537	54512	54393	54388	54491
54395	54095	54140	54165	54121	54038	53900	53917	53884	53835
53802	53718	53624	53531	53642	53523	53473	53461	53273	53279
53269	52934	52859	53011	53011	52835	52658	52808	52757	52595
52641	52499	52506	52475	52552	52509	52315	52337	52376	52269
52240	52110	51981	52288	51982	51979	51952	51839	51918	51850
51953	51709	51627	51846	51802	51770	51643	51549	51624	51667
51605	51502	51429	51509	51525	51394	51444	51453	51456	51375
51403	51444	51463	51420	51420	51460	51439	51447	51513	51469
51451	51385	51424	51469	51595	51518	51375	51530	51613	51529
51638	51641	51623	51712	51664	51914	51721	51693	51761	51702
51928	51740	51796	51995	52016	52164	42120			

Tabelle IV: Wie Tabelle III, jedoch Ableitung von frontal links (F3) gegen frontal Mitte (F2). Rechtes Mastoid geerdet.

05860 39257 39130 38494 05765 38841 39211 38831 38513 38212
 38391 38398 38055 38268 38175 38095 37843 37860 37621 37367
 38020 05733 37626 37368 37624 05755 37219 37373 37127 37162
 36952 37000 36625 36750 36848 36907 36478 36534 36484 36453
 36502 36234 37567 36349 36161 35911 36039 35770 37499 25930
 35723 35607 35488 35551 35734 35472 35241 35199 35278 35206
 35210 35015 34696 35254 35017 34661 34642 05662 34601 34417
 34299 34267 33942 33999 34336 34131 33901 33804 33754 33572
 33642 33457 33341 33222 33409 33404 33146 33120 35231 33137
 32658 32775 32644 32605 32724 32616 32309 32472 32384 32401
 32374 32069 31976 32127 32111 05205 31717 31876 31818 31818
 31337 31293 31281 31500 31627 31409 31082 31214 31198 30937
 31137 30868 30855 30907 31071 30993 31042 30892 30951 30933
 30839 30621 30455 30813 30777 30799 30395 30739 30702 30688 -
 30769 30570 30370 30530 30854 30743 30793 30707 30740 30745
 30663 30565 30417 30822 30923 30500 30642 30748 30819 30770
 30948 30717 30740 30693 30960 30982 30734 30614 30879 30751
 30945 30659 30556 30944 31085 30932 30704 30986 31186 30878
 31136 30808 30706 30880 31131 31095 31005 30940 31091 31052
 30922 30908 30802 31186 30921 31139 30969 31005 31029 31119
 31234 31240 31147 31090 31324 31335 31098 31295 31185 31272
 31295 31181 31283 31312 31426 31255 31209 31261 31245 31458
 05091 31255 31371 31605 31657 31703 31549 31671 31767 31774
 31785 31516 31559 31884 31780 31664 31651 31730 31824 31805
 32670 31675 31698 31781 31794 31981 31652 31654 31490 31860
 31753 31554 31464 31672 31729 05139 35664

Tabelle V: Wie Tabelle IV, jedoch Ableitung von frontal Mitte
 (F2) gegen linkes Mastoid. Rechtes Mastoid geerdet.
 VP H.B. männlich.

45483	39145	39132	39214	41123	38565	38906	38770	38619	38509
38437	38185	38276	38219	38136	37732	37910	37934	37682	37697
37578	37474	37474	37286	37200	37189	37058	36949	36912	36842
36793	36641	36479	36519	36605	36468	36170	36317	36242	36041
36109	36069	35884	35910	35818	35809	35723	35609	35503	35472
35429	35245	35302	35301	35228	35128	35103	35081	35125	35026
35015	34889	34902	35016	34819	34644	34800	34698	34773	34657
34492	34556	34348	34322	34262	34333	34150	34204	34062	34010
34253	34184	33960	33978	34049	33856	33796	33809	33887	33789
33756	33726	33533	33572	33372	33654	33494	33334	33450	33375
33525	33305	33254	33205	33280	33348	33141	33172	33236	33172
33115	33089	33081	32997	32895	32904	32972	32935	32959	32703
32951	32780	32693	32750	32747	32727	32619	32648	32661	32491
32569	32441	32560	32491	32384	32364	32457	32323	32316	32319
32422	32263	32160	32328	32335	32141	32146	32083	32180	32082
32157	32003	04792	31898	32226	31912	31748	31986	31847	31781
31884	31783	31874	31766	31784	31730	31749	31619	31710	31662
31673	31592	31530	31434	31495	31637	31593	31438	31393	31456
31619	31452	31581	31430	31411	31489	31368	31451	31338	31313
31347	31149	31283	31354	31082	31256	31102	31236	31244	31040
31315	31414	31097	04811	31328	31301	31200	31122	31200	31201
31317	31250	31153	31222	31195	31156	31105	31212	31271	31140
31257	31338	31195	31326	31432	31231	31316	31127	31233	31397
31175	31303	31202	31324	31382	31279	31156	31316	31328	31255
31318	31325	31388	31360	31385	31419	31467	31342	31284	31412
31389	31547	31370	31439	31403	31436	30786			

Tabelle VI: Ableitung frontal Mitte gegen linkes Mastoid.
Rechtes Mastoid geerdet.

38113	27388	27360	27339	27156	27055	27125	08854	27083	26777
26849	26704	26519	26539	26534	26465	26330	26370	26270	26259
26192	26095	25832	25890	25974	25776	25503	25547	25500	25317
25277	25345	24943	25043	25131	24933	24886	24961	24887	24746
24862	24635	24568	24720	24558	24527	24390	24438	24375	24252
24341	23996	23983	23953	23811	23839	23743	23662	23801	23512
23741	23559	23478	23451	23399	23412	23485	23384	23370	23318
23317	23215	23040	22993	23011	22929	22961	22760	22835	22783
22976	22842	22741	22820	22729	22654	22734	22757	22636	22802
22668	22638	22535	22614	22764	22621	22558	22602	22622	22712
22604	22692	22594	22559	22683	22690	22604	22754	22718	22683
22751	22662	22637	22773	22643	22753	22812	22823	22720	22953
23063	22874	22978	22914	22980	23029	22989	23079	23162	23117
23173	23093	23020	23121	23130	23158	23108	23164	23317	23117
23517	23332	23160	23415	23424	23311	23317	23286	23381	23274
23249	22941	23088	23125	23162	23336	22991	23012	23102	23190
23120	23127	23007	22931	23049	22903	22821	22924	22797	22622
22673	22723	22396	22587	22600	22696	22416	22503	22517	22412
22489	22500	22446	22369	22451	22328	22289	22150	22151	22315
22202	22025	21985	21933	22075	21947	21748	21811	21956	21848
21933	21721	21806	21848	21738	21608	21706	21569	21638	21720
21350	21386	21142	21437	21386	21285	21211	21197	21192	21046
21135	21142	20964	21104	21092	20927	20875	20975	20939	20843
20841	20871	20671	20687	20748	20683	20677	20739	20650	20686
20672	20534	20517	20571	20651	20767	20482	20687	20648	20583
20615	20600	20607	20451	20700	20739	12489			

Tabelle VII: Ableitung frontal rechts (F4) gegen frontal Mitte (F2). Rechtes Mastoid geerdet.

26549	26703	26732	26605	26536	26538	26568	26527	26438	
26418	26370	26303	26377	26247	26301	26232	26228	26137	26202
26229	26181	26110	26103	25366	26035	25849	25318	25782	25868
25774	25699	25739	25566	25675	25593	25368	25515	25551	25435
25447	25642	25504	25434	25440	25318	25358	25389	25329	25330
25203	25360	25102	25137	25147	25166	25101	25030	24998	24999
24995	25018	24944	24994	24905	24938	24986	24956	24939	24943
24824	24800	24783	24811	24901	24889	24717	24803	24700	24603
24788	24636	24609	24648	24594	24705	24537	24444	24553	24524
24514	24649	24385	24547	24490	24543	24462	24615	24526	24457
24527	24555	24525	24546	24431	24531	24380	24461	24402	24519
24458	24364	24368	24450	24421	24419	24316	24420	24363	24423
24478	24429	24295	24561	24401	24398	24548	24343	24471	24466
24425	24421	24394	24435	24530	24549	24343	24500	24511	24372
24545	24474	24416	24562	24552	24450	24432	24435	24419	24436
24407	24328	24300	24420	24216	24345	24323	24207	24292	24463
24188	24212	24185	24143	24187	24192	24183	24055	24127	24082
24039	24075	23894	23903	23993	23958	23821	23924	23886	23837
23837	23949	23872	23773	23738	23882	23802	23704	23841	23729
23704	23686	23612	23717	23596	23690	23628	23698	23773	23742
23704	23670	23673	23708	23664	23707	23625	23639	23602	23664
23577	23534	23599	23616	23693	23627	23420	23538	23644	23648
23672	23675	23709	23571	23675	23716	23642	23720	23575	23682
23736	23603	23636	23642	23739	23608	23446	23718	23712	23656
23789	23722	23723	23651	23641	23786	23678	23741	23741	23706
23739	23857	23650	23762	23838	23675	22901			

Tabelle VIII: Alle Bedingungen wie in allen Tabellen, jedoch Ableitung von frontal rechts gegen frontal links, also von F4 nach F3. Rechtes Mastoid geerdet.

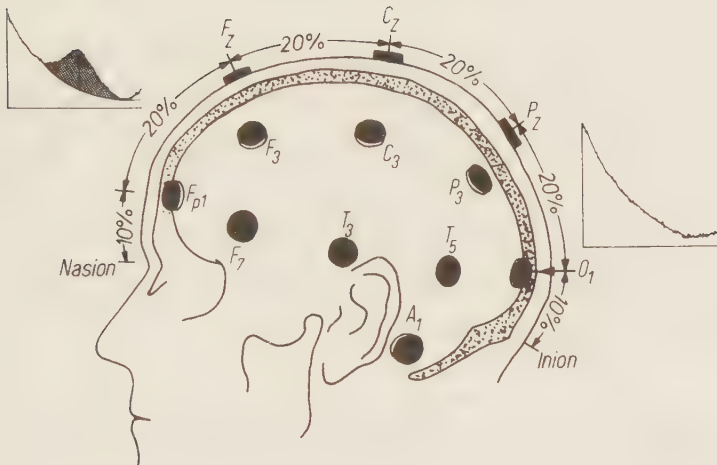


Abbildung 12: Schematische Darstellung des Vergleichs der Größe des Intensionspotentials bei Ableitung von frontal (F3) und von occipital (O1). Das Potential ist unter den vorliegenden Bedingungen über dem Frontalhirn mit größter Amplitude zu registrieren. Man beachte jedoch die Bemerkungen über die Signifikanz im Text.

D. Diskussion der Versuchsergebnisse

Die hier mittels auto-correlatorischer Methodik beschriebenen motorischen Intensionspotentiale des Menschen bedürfen erstens einer Abgrenzung gegenüber bereits beschriebenen, motorische Handlung begleitende Potentialänderungen des menschlichen EEG. In einem zweiten Teil wird sodann die Ausschaltung von Artefakten und deren Abgrenzung vom Meßsignal zu besprechen sein.

I. Besprechung verwandter Hirnpotentiale des Menschen

Unter dem Terminus "Bereitschaftspotential" (Readiness Potential) ist von der Arbeitsgruppe um Kornhuber in einer Reihe von Arbeiten ein Potential beschrieben worden, das bei der Durchführung einer Muskelinnervation und ihrer Bewegungsfolge einschließlich der Augenmuskeln zeitlich dem Muskelaktionspotential und der mechanischen Bewegung um etwa eine Sekunde vorausgeht. Bei den Untersuchungen dieser Arbeitsgruppe werden grundsätzlich elektronische Mittelungsverfahren benützt, bei denen der Zeitablauf meßbar ist. Wie die folgende Abbildung zeigt, geht beispielsweise einer Augenbewegung ein bei Gleichspannungsregistrierung nahezu linear ansteigendes negatives Potential mit Maximum über dem Vertex der eigentlichen Bewegung voraus. Auch die

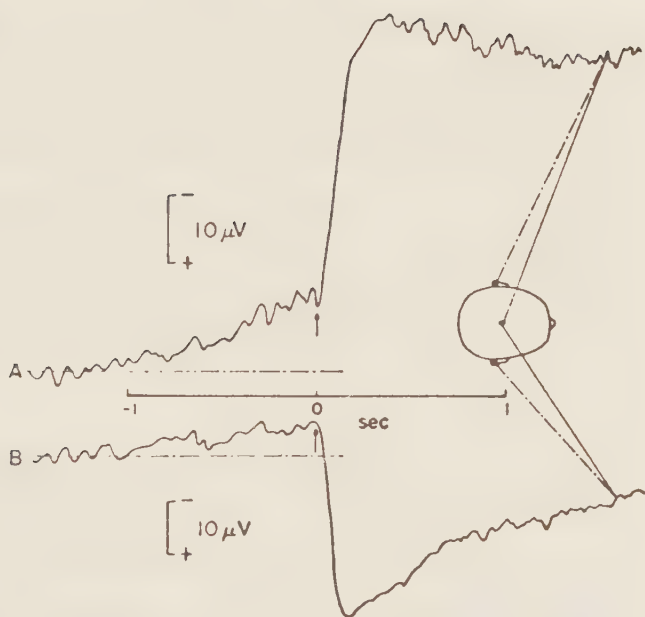


Abbildung 13: "Bereitschaftspotential" von K o r n h u b e r und Mitarbeitern. Vor der Auslösung einer (Augen-) Bewegung läßt sich im elektronischen Mittelungsverfahren über dem Vertex gegen das Mastoid ein langsames, etwa 1 Sekunde andauerndes, 10 Mikrovolt großes negatives Potential ableiten, das der Einleitung der Muskelinnervation (steiles Kurvenstück) vorausgeht. Das Bereitschaftspotential konnte für praktisch sämtliche Skelettmuskelaktivierungen nachgewiesen werden.

Größe dieses Potentials liegt bei 10 Mikrovolt, sofern Gleichspannungsregistrierung verwendet wird. Dieses Potential entwickelt sich, wie schon gesagt, linear und wird beendet durch eine abrupte Negativierung im Augenblick des Bewegungsablaufes. Demzufolge wurde dieses Potential von K o r n h u b e r und seiner Gruppe als ein mit großer Wahrscheinlichkeit im präzentralen Cortex und/oder im Parietalhirn entstehendes Potential gedeutet, das der Bereitschaft der Versuchsperson vorausgeht, eine motorische Handlung auszuführen.

Im Unterschied zu den hier vorliegenden Messungen zeigt dieses Potential nicht über dem Frontalhirn, sondern über dem Vertex seine größte Amplitude. Es tritt als Begleiterscheinung nicht der Intention einer Bewegung, sondern der tatsächlich durchgeführten Bewegung, ihr zeitlich vorausgehend, auf. Der Ort entspricht der motorischen Projektion efferenter motorischer Bahnen im primären Cortex des Menschen. Von dort erreicht die Information über das Rückenmark die betreffende Muskulatur beziehungsweise bei Augenmuskelbewegungen über die zugehörigen motorischen Hirnnerven das Erfolgsorgan. Es ist verständlich, daß das Bereitschaftspotential der tatsächlichen Bewegung vorausgeht, da zwischen der Intention eines Bewegungsablaufes und seiner Durchführung Zeit vergeht, die sich auch subjektiv im Selbstversuch beobachten läßt.

So wichtig die von K o r n h u b e r und seinem Laboratorium nachgewiesenen Bereitschaftspotentiale sind, so stellen sie doch ein Zwischenglied zwischen der Willkürintention und dem motorischen Muskelinnervationsvorgang dar. Dieses Zwischenglied hat, nach allem was wir wissen, seinen Entstehungsort im primären Cortex. Die Zeitdauer dieser Negativierung entspricht in allen Gesichtspunkten dem, was aus neurophysiologischer und psychologischer Sicht als diesem geschilderten Vorgang zugeordnete EEG-Veränderung zu erwarten ist.

In ähnlicher Weise ist von der Arbeitsgruppe um B a t e s in England eine Potentialänderung im menschlichen EEG von der gleichen Größenordnung der Amplitude mit Maximum ebenfalls über dem Vertex schon früher beschrieben worden, welche den Bewegungsablauf begleitet und ihm vorausgeht. Dieses Potential, mit der superimposed technique registriert, kann in der Polarität durch aufeinanderfolgende antagonistische Bewegungen über einer Hemisphäre invertiert werden, so daß ein langsames diphasisches Potential resultiert, wie das in der nächsten Abbildung gezeigt ist. Hierbei ist die Größe des nur mäßig (optisch) gemittelten Potentials über der kontralateralen Hemisphäre größer als über der ipsilateralen, ein Befund, der mit den Ergebnissen der K o r n h u b e r'schen Arbeitsgruppe übereinstimmt. Auch bei den B a t e s'schen Untersuchungen besteht der Unterschied zu den hier

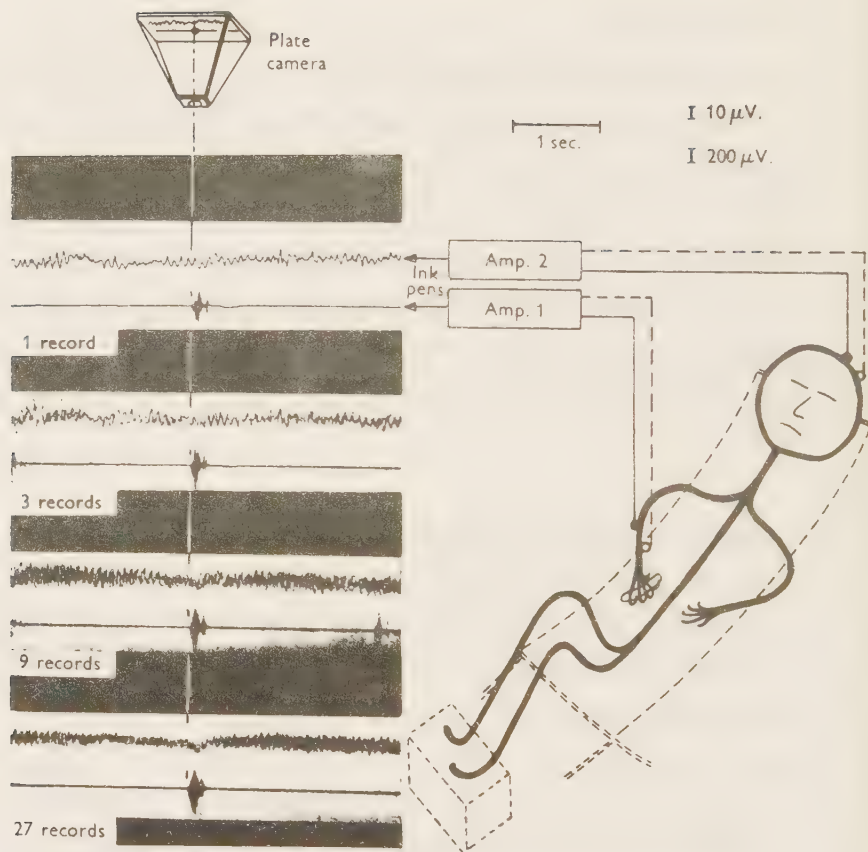


Abbildung 14: Beim Drücken einer Hantel lassen sich vom intakten Schädel des Menschen über dem präzentralen gyrus vor der sylvischen Fissur während und angedeutet auch kurz vor dem Druck evozierte motorische Potentiale ableiten, die mit optischer Superimpositions-Technik (unterster Kurvenzug) im EEG sichtbar werden. Nach B a t e s (1951).

dargestellten Ergebnissen darin, daß ein Zeitablauf gemessen worden ist und nicht auto-correliert wurde, daß das Potential die Muskelbewegung begleitet und sich jedenfalls in den in der Literatur vorliegenden Untersuchungen sich auf tatsächlich durchgeführte Bewegungsabläufe beschränkt.

In einer anderen Versuchsreihe, die wir G r e y W a l t e r und seinem Laboratorium in England verdanken, ist seit langer Zeit, ähnlich wie von der D e s m e d t 'schen Arbeitsgruppe in Brüssel eine der Erwartung eines sensorischen Reizes entsprechende negative Variation des menschlichen Elektroencephalogramms mit Hilfe der arithmetischen Mittelung nachgewiesen und beschrieben worden, welche durch die Ausführung einer Bewegung, die auf einen sensorischen Reiz hin konditioniert zustandekommt, abgebrochen wird. Die Erwartung, eine befohlene Aufgabe nach Perzeption eines sensorischen Stimulus auszuführen, ist also nach diesen Untersuchungen, wie sie im nächsten Bild als Beispiel gezeigt sind, objektivierbar. Es handelt sich dabei nicht um die Intention einer Bewegung per se, also ohne ein von außen auf den Organismus einwirkendes Signal, sondern um einen komplexen Vorgang, der entsprechend den klassischen P a v l o v'schen Versuchen konditioniert werden kann und der nur im Zusammenspiel zwischen Perzeption und motorischer Handlung beobachtbar ist.

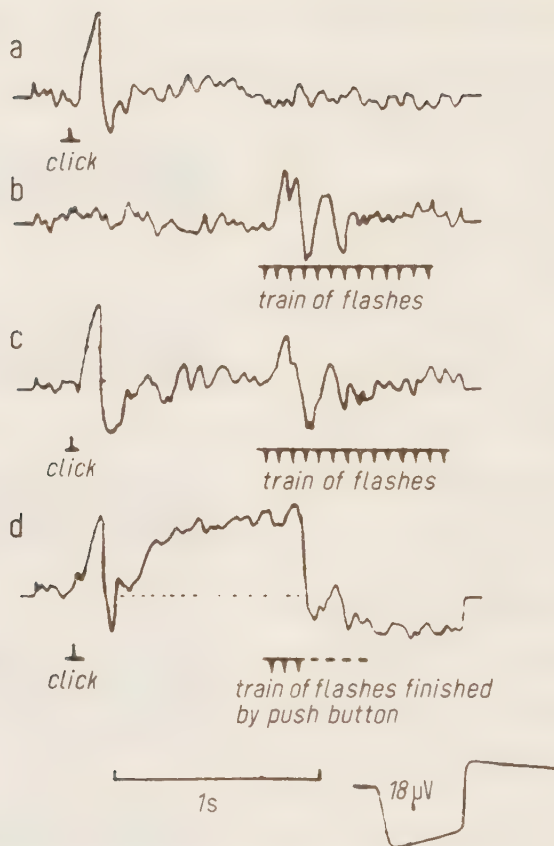


Abbildung 15: "Contingent Negative Variation" nach Grey Walter. Am Vertex des Menschen werden sowohl Click-Reize wie visuelle Lichtblitze mit dem konventionellen evozierten diphasischen oder polyphasischen Potential beantwortet. Nur, wenn die VP beauftragt wird bei dem auf den früheren Click später folgenden Lichtblitz einen Druckknopf (motorisch) zu betätigen, tritt während der Erwartung des Signals zum Betätigen des Druckknopfes ein deutliches, nach oben gerichtetes, negatives Potential auf, das CNV, die contingent negative variation.

Diese sogenannte "Negative Contingent Variation", wie sie von G r e y W a l t e r genannt worden ist, ist sicherlich ebenfalls für physio-psychologische Untersuchungen von großem Wert. Auch liegt ihre Potentialschwankung wiederum in der gleichen Größenordnung und im selben sehr langsamen Frequenzbereich um eine Sekunde herum. Sie tritt aber auch dann auf, wenn die motorische konditionierte Reaktion weder intentional noch real muskulär durchgeführt wird. Sie muß deshalb dem Sensorium des Zentralnervensystems des Menschen zugeordnet werden.

In dieser Richtung führen Untersuchungen am B u r i a n ' - schen Institut in Wien, insbesondere durchgeführt von B r i x (1977) konsequent weiter. Dieser Arbeitsgruppe ist es gelungen sensorische Vorstellungspotentiale (nicht motorische Intentionspotentiale) ohne Mittelung des menschlichen EEGs als einfache Zeitfunktion nachzuweisen. Die Bedeutung dieser Versuche beruht darin, daß im menschlichen EEG auch dann Potentialänderungen nachweisbar sind, und zwar sogar ohne die Methode der arithmetischen Mittelung, wenn kein Reiz auf das Nervensystem einwirkt, sondern die Versuchsperson nur angibt in welchem Zeitabschnitt sie sich etwa optische Vorstellungen oder akustische Vorstellungen eines Tones gemacht hat.

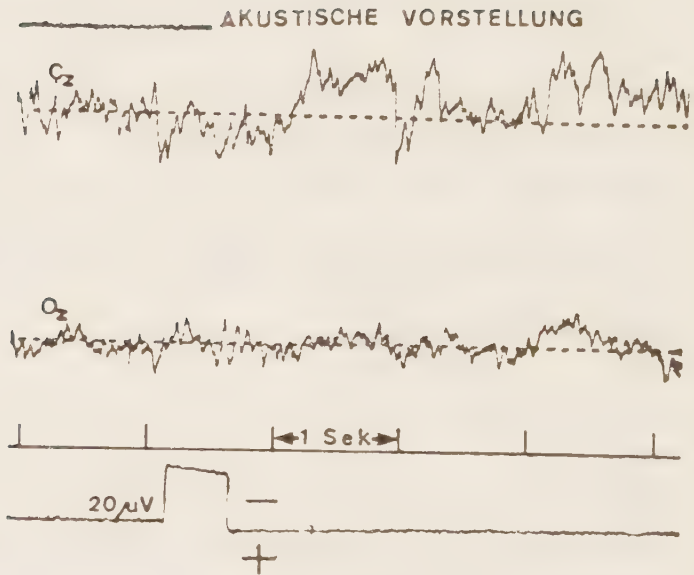


Abbildung 16: Sensorische Vorstellungspotentiale nach B r i x (1978). Die Vorstellung akustischer Bewußtseinsinhalte (Silben, Zahlen, Wörter) lösen im EEG einer menschlichen VP deutliche, etwa 1 Sekunde anhaltende Negativierungen aus. Interessant ist, daß hierbei Mittelungsverfahren unzweckmäßig wären, da es sich um hochkomplexe, individuelle Bewußtseinsinhalte handelt. Das hier dargestellte Potential ist im oberen Kurvenzug zu sehen.

Wie die nächste Abbildung zeigt, treten dabei ähnliche Potentialschwankungen auf, wie sie bei tatsächlich auf den Menschen einwirkenden Signalen mit Hilfe der arithmetischen Mittelungsmethode noch deutlicher beobachtet werden können. Auch diese Untersuchungen sind, insbesondere, weil sie individuelle Einzelvorgänge der Hirnaktivität repräsentieren, von großem physio-psychologischem Wert, sind aber auf das Sensorium beschränkt und haben den Nachteil, daß die Mitteilung über den ungefähren Zeitabschnitt der Vorstellung in irgend einer Weise dem Versuchsleiter kundgetan werden muß. Diese Potentiale können daher nicht frei sowohl von Erwartungen, wie von tatsächlichen motorischen Abläufen sein.

Trotzdem besticht bei diesen Untersuchungen die Einfachheit ihrer Registrierung, die sie zudem im klinischen Anwendungsbereich für die Untersuchungen an jeder beliebigen Versuchsperson zugänglich machen. Auch dabei liegen die Größenänderungen der meßbaren Potentialänderungen im Bereich zwischen 10 und 30 Mikrovolt.

Ähnliches gilt für die K ö h l e r'schen Gleichspannungsänderungen während der Darbietung von akustischen Reizen, die als "perstimulatory DC-shift" besonders von der Arbeitsgruppe um W.D. K e i d e l systematisch untersucht worden ist.

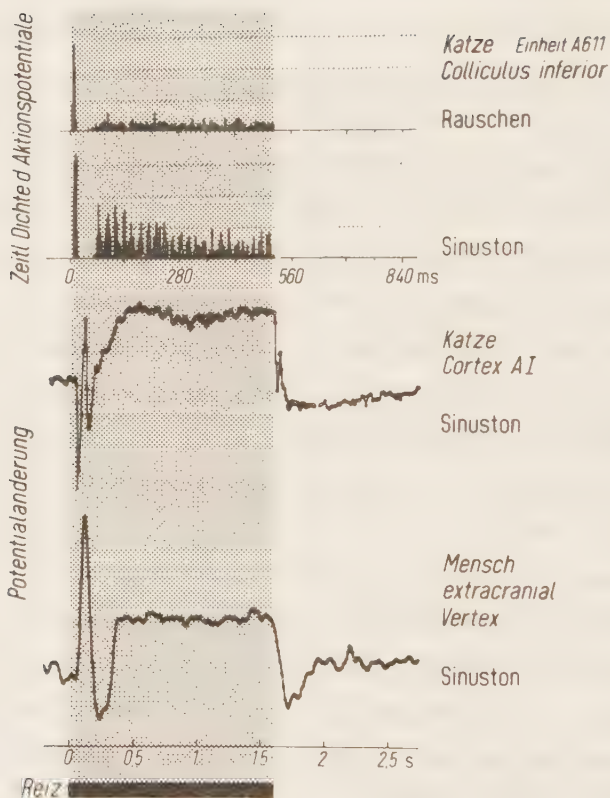


Abbildung 17 a): Perstimulatorische sensorische, negative Gleichspannungspotentiale konnten nach lange zurückliegenden EEG-Einzelregistrierungen von Köhler von der Arbeitsgruppe um W. D. Keidel mit elektronischer Mittelung sowohl im akustisch evozierten Potential der Hirnrinde der Katze wie des Menschen nachgewiesen werden. Sie treten zu einem Zeitpunkt auf, während dessen im Vierhügelgebiet der Katze an einzelnen Neuronen die intramodalspezifische Aktivität mit Mikroelektrodenteknik im PST-Histogramm nachweisbar auftritt (1972).

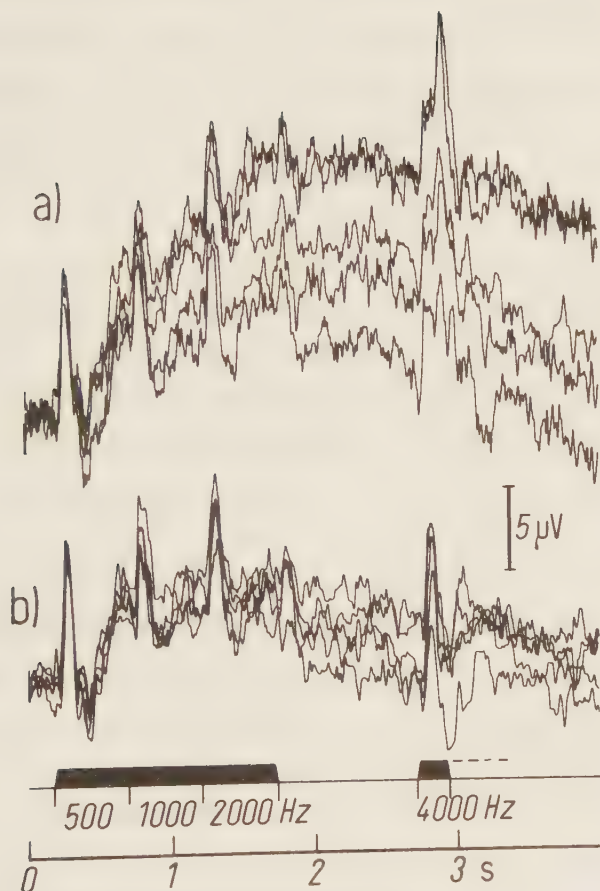


Abbildung 17 b): Auch im Zeitgang des menschlichen akustisch evozierten Potentials kann bei vollständiger Gleichspannungsregistrierung das perstimulatorische Gleichspannungspotential (Kurvenverschiebung nach oben) nachgewiesen werden. Superimposed Technique von elektronenmaschinell gemittelten Potentialen. (Nach F i n k e n z e l l e r und W. D. K e i d e l (1978)).

Dieses sensorische Gleichspannungspotential, mit elektronischer Mittelung zuverlässig am Menschen registrierbar, stellt heute einen für die Klinik bereits unverzichtbaren Bestandteil der sogenannten ERA, also der Evoked Response Audiometry, dar. Ein Beispiel ist in der nächsten Abbildung wiedergegeben.

So bedeutungsvoll alle genannten Untersuchungen sein mögen, so fehlt ihnen doch, obgleich sie in die Familie ähnlicher Untersuchungen gehören, das entscheidende Kriterium der motorischen Intention und die Freiheit von allen sensorischen Reizeinflüssen aus der Umwelt während der Registrierung. Wie im Rahmen dieser Arbeit ausführlich dargestellt worden ist, ist aber gerade dies eine unverzichtbare Voraussetzung für die Möglichkeit die eigentlich der Willkür entsprechende motorische Intention frei von allen anderen Aktivierungen des Gehirns objektiv zu registrieren.

Das hier beschriebene Intentionspotential ist also in der Tat die erste objektive neurophysiologische Entsprechung mittels sonst nur subjektiv introspektiv erlebbarer bewußter Vorgänge zur Einleitung motorischer Bewegungen. Das Maximum des Potentials im Bereich des Frontalhirnes überrascht deshalb nicht. Sein Nachweis ist, wie dargestellt, nur mit auto- oder cross-correlatorischen Meßverfahren durchführbar und ergänzt, wie wir glauben, an einer entscheidenden Stelle die verschiedenen Arten der in der Literatur bekannten Potentiale des lebenden menschlichen Gehirns, welche

sonst nur psychologisch erfaßbaren Bewußtseinsinhalten zugeordnet werden können. Das hier dargestellte Potential ist das Correlat zur "Willkür" im Begriff der "Willkürbewegung" mit vermutetem Sitz im Frontalhirn, wie im ersten Teil dieser Arbeit dargelegt. Eine exakte Lokalisierung des Potentials wird allerdings erst dann möglich sein, wenn, wie schon angedeutet, von der galvanischen Registrierung abgegangen wird und statt dessen im Fernfeld mit magnetischem Detektor mit dreidimensionaler Raumorientierung nach dem SQUID-Verfahren oder vergleichbaren andersartigen magnetischen Methoden gemessen werden wird.

II. Ausschaltung von Artefakten

Eine Beschreibung der Fehlermöglichkeiten des hier dargestellten Intentionspotentiales muß sich mit den folgenden Fehlerquellen befassen:

1. Elektrokardiogramm-Einstreuung,
2. Augenmuskelpotentiale als Störquellen,
3. Augenlidbewegungen als mögliche Artefaktursachen.

Im einzelnen läßt sich hierzu sagen, daß mit dem im Kapitel Methodik beschriebenen Registrierverfahren Artefakte von seiten der Augenbrauenmuskulatur und von seiten der Lidschlußmuskulatur automatisch vom Rechner durch die Art des verwendeten Programmes des PDP 12-Rechners verworfen werden und damit nicht zur Registrierung beitragen können. Zur Problematik der möglichen Einstreuung des Elektrokardiogramms kann gesagt werden, daß bei Cross-Correlierung von links nach rechts auf der Glabella gegen Mitte der Glabella als Erde mit Differentialeingang am Vorverstärker jede Einstreuung durch einen elektrischen Vektor des Elektrokardiogramms, der möglicherweise in diesem Schädelbereich störend auftreten könnte, unterdrückt wird und selbst bei Vorhandensein eines zugehörigen zeitvarianten elektrischen Vektors durch den gegenphasigen Differenzeingang des Verstärkers mit Unterdrückung gleichphasiger Potentiale ausgeschlossen wird. Nachdem derartige Messungen in der Zeitform und der Größe der hier beschriebenen Intentionspotentiale mit jenen übereinstimmen, die bei auto-correlatorischen Messungen von einem Punkt auf der Glabella gegen das Mastoid ableitbar sind, kann also der Einfluß des Elektrokardiogramms auf die dargestellten Potentiale als ausgeschlossen betrachtet werden. Daß der Herzschlag dagegen, ebenso wie der Atemrhythmus einen Einfluß auf die periodische Folge von Vorstellungen der Versuchspersonen haben kann, ist allerdings nicht auszuschließen. Hierin liegt jedoch keine

Verformungsmöglichkeit für das Potential selbst begründet, sondern nur eine Störmöglichkeit für den vorgestellten periodischen Rhythmus der Intentionen zur unteren Extremität, welche zur Muskelinnervation der rechten Zehenbewegung erforderlich wäre.

Als weitere Störquellen könnten nur sensorische Reize oder bei Gleichspannungsregistrierung eine Drift der Elektrodenpolarisation eine Rolle spielen. Die Gleichspannungsdrift ist durch ein eigenes Programm (P. F i n k e n z e l l e r) wiederum ausgeschlossen. Als akustische Signale kommen nur Atemgeräusche und somaesthetische Beobachtung des Herzschlages in Betracht, da die Versuchsperson wie beschrieben, von allen äußeren experimentellen sensorischen Einflüssen abgeschirmt war. Die Befragung der Versuchspersonen und die Selbstbeobachtung hat aber gezeigt, daß sich bei ruhiger Atmung mit oder ohne aufgesetzten Gehörschutz die Atemgeräusche unter der Hörschwelle halten lassen und bei gesunden Versuchspersonen in Ruhe auch der Herzschlag nicht wahrnehmbar ist. Vielmehr wurde von den Versuchspersonen übereinstimmend angegeben, daß gerade die Konzentration auf die periodische Intention alle perzeptorischen Bewußtseinsinhalte voll unterdrückt, beispielsweise auch eine geringfügige Helligkeit der elektrisch abgeschirmten Camera silenta. In voller Dunkelheit gilt dieses Argument noch mehr. Die meisten Versuche sind dementsprechend unter dieser Zusatzbedingung durchgeführt worden.

Weitere Untersuchungen müssen das Seitenungleichheitsprinzip des Gehirns, eine Quantifizierung des Potentials, eine genaue Lokalisation seines Entstehungsortes und den Einfluß von "Alertness" und "Vigilanz" auf die Größe des Potentials zum Ziele haben. Alle diese Forschungsziele sind weiteren experimentellen, vorwiegend magnetischen, Untersuchungen auf diesem Gebiet in der Zukunft vorbehalten.

E. Zusammenfassung

1. Mit Hilfe des Auto-Correlationsverfahrens wurde in drei Varianten des methodischen Versuchsaufbaus der Nachweis der Existenz eines Willkürintensionspotentials beim Menschen durch Ableitung vom intakten Schädel erbracht.
2. Dieses Intensionspotential ohne Ausführung einer folgenden motorischen Bewegung ist in der Zeitdauer im Sekundenbereich gelegen und weist eine Größenordnung von im Mittel 6 Mikrovolt auf. Die exakte Bestimmung der quantitativen mittleren Größe der Amplitude, ebenso wie der zeitlichen Dauer des Potentials, ist statistisch bisher wegen der erheblichen intra- und interindividuellen Streuung der mit diesem Verfahren erzielten Ergebnisse nicht möglich. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß das hier beschriebene Verfahren an der Grenze der physikalischen und psychologischen Meßmöglichkeiten liegt.
3. Trotzdem läßt sich aussagen, daß das Potential über dem Frontalhirn am größten ist und kontinuierlich zum Occiput hin auf nicht mehr meßbare Werte absinkt.
4. Das Potential erfordert so hohe Konzentration und ein so hohes Vorstellungsvermögen von der Versuchsperson mit

einem gut ausgebildeten Zeitsinn, daß es nur bei etwa zwanzig Prozent aller verfügbaren Versuchspersonen registrierbar war.

5. Das hier beschriebene Intensionspotential wird in der Diskussion vom Bereitschaftspotential, der "Negative Contingent Variation" und dem "Perstimulatory DC-Potential" klar abgegrenzt.
6. Als Ort seiner Entstehung wird die Frontalrinde des Hirns vermutet. Die klare Festlegung des Entstehungsortes, ebenso wie die Frage einer Seitenungleichheit sind mit den bisherigen Methoden noch nicht genügend statistisch zu sichern. Es ist geplant Untersuchungen in dieser Richtung mit magnetischen Sensoren mittels des gleichen Verfahrens am Institut fortzuführen. Die damit noch offenen Probleme zur Topologisierung des vorliegenden objektiven Intensionspotentials müssen daher diesen weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben.
7. Die zeitliche Zuordnung des Intensions-Potentials zum Bereitschaftspotential und zum Muskelaktionspotential im Falle einer tatsächlich ausgeführten Muskelinnervation ist mit diesem Verfahren grundsätzlich nicht möglich.

8. Die Bedeutung der vorliegenden Arbeit besteht nach unserer Ansicht in dem erstmaligen objektiven Nachweis der sonst nur introspektiv psychologisch beobachtbaren Absicht eine motorische Bewegung auszuführen ohne sie tatsächlich durchzuführen (motorische Willkürintention; "Intentionspotential"). Dabei wird davon ausgegangen, daß auch bei der tatsächlich durchgeführten Muskelinnervation dasselbe Potential, das aller Voraussicht nach im Frontalhirn dem Bereitschaftspotential im primären Cortex und/oder im Parietalhirn vorausgeht, eine Negativierung in den zugehörigen höchsten motorischen Hirnrindenarealen als elektrophysiologische Begleiterscheinung aufweist.

Literatur

- Allison, T.
Recovery functions of somatosensory evoked responses in man.
Electroenceph. clin. Neurophysiol., 14, 331-343, 1962
- Barlow, J.S. and L. Ciganek
Lambda responses in relation to visual evoked responses in man.
Electroenceph. clin. Neurophysiol., 26, 183-192, 1969
- Bates, J.A.V.
Electrical activity of the cortex accompanying movement.
J. Physiol. (Lond.) 113, 240-257, 1951
- Becker, W., O. Hoehne, K. Iwase, H.H. Kornhuber und R. Täumer
Bereitschaftspotential und evozierte Potentiale der menschlichen Großhirnrinde bei willkürlichen BlickEinstellbewegungen.
Pflügers Archiv ges. Physiol. 300, R 105, 1968
- Becker, W., L. Deecke, O. Hoehne, K. Iwase, H.H. Kornhuber und P. Scheid
Bereitschaftspotential, Motorpotential und praemotorische Positivierung der menschlichen Hirnrinde vor Willkürbewegungen.
Naturwissenschaften 55, 550, 1968
- Becker, W., L. Deecke, B. Grözingen und H.H. Kornhuber
Weitere Untersuchungen über menschliche Hirnpotentiale vor Willkürbewegungen.
Pflügers Archiv ges. Physiol. 312, R 108, 1969
- Becker, W., O. Hoehne, K. Iwase und H.H. Kornhuber
Bereitschaftspotential, prämotorische Positivierung und andere Hirnpotentiale bei sakkadischen Augenbewegungen.
Vision Res. 12, 421-436, 1972
- Bickford, R.G., J.L. Jacobson and D.T.R. Cody
Nature of average evoked potentials to sound and other stimuli in man.
Ann. N.Y. Acad. Sci. 112, 204, 1964

Bizzi, E.

Discharge of frontal eye field neurons during eye movements in unanesthetized monkeys.

Science, N.Y. 157, 1588-1590, 1967

Brix, R.

Objektivierung der Begriffsdiskrimination und der Begriffsbildung im EEG des Menschen.

Z. Klin. Psychol. 1, 1 - 17, 1975

Brix, R.

Der "Objektive Frequenz-Dekrement-Test" (OFDT): Ein neuer objektiver EEG-Test zur Bestimmung der Frequenzunterschiedsschwelle.

Laryng. Rhinol. 54, 54, 1025-1033, 1975

Brix, R.

Contingent negative variations and differential hearing thresholds.

European Symposium on Neurophysiology of Hearing in Bordeaux 1976.

Rev. Laryng. (Bordeaux), Suppl. 97, 602-612, 1976

Brix, R.

Das Elektroenzephalogramm (EEG) als Korrelat des Erlebens: Die objektive Bestimmung der Frequenzunterschiedsschwelle für Sinustöne durch das EEG.

Ger. d. 30. Kongr. d. Dtsch. Ges. Psychol. in Regensburg 1976, 357-359, 1977

Brix, R.

Die Bedeutung der "Contingent Negative Variation" (CNV) für die Audiometrie.

Arch. Oto-Rhino-Laryng. 217, 273-287, 1977

Brix, R.

Die Objektivierung von Hören und Verstehen mit Hilfe von Gleichspannungsverschiebungen im EEG.

Film der Bundesstaatlichen Hauptstelle für wissenschaftliche Kinematographie, Wien, 1977

Brix, R.

Die Objektivierung akustischer und optischer Vorstellungen im Elektroenzephalogramm.

Arch. Oto-Rhino-Laryng. 218, 209-219, 1978

Brix, R., K. Burian
The objectivation of verbal discrimination ability.
Further investigations.
Int. Audiology 12, 481-487, 1973

Brockhurst, R.J. and K.S. Lion
Analysis of ocular movements by means of an electrical method.
A.M.A. Arch. Ophthalmol. 46, 311-314, 1951

Caspers, H.
Changes of cortical D.C. potentials in the sleep wakefulness
cycle.
In: The Nature of Sleep.
London: Churchill 1961

Chatrian, G.E., M.C. Petersen and J.A. Lazarte
The blocking of the rolandic wicket rhythm and some central
changes related to movement.
Electroenceph. clin. Neurophysiol., 11, 497-510, 1959

Cooper, R. and W.J. Warren
The use of barrier grid storage tubes type 9511 A for
excitation of average evoked responses from the e.e.g.
J. Physiol. 157, 38 p, 1961

Cooper, R., V.J. Aldridge, W.C. McCallum and A.L. Winter
Contingent negative variation: an electric sign of sensori-
motor association and expectancy in the human brain.
Nature (Lond.) 203, 380, 1964

Cooper, R., A.L. Winter, H.J. Crow and W. Grey Walter
Comparison of subcortical, cortical and scalp activity using
chronically indwelling electrodes in man.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 18, 217-228, 1965

Crow, H.J., R. Cooper and D.G. Phillips
Progressive leucotomy.
In: Current psychiatric therapies.
Ed.: Masserman, J.H.
Grune and Stratton, New York 1963

Dawson, G.D.

Cerebral response to electrical stimulation of peripheral nerve in man.

J. Neurol. Psychiat. 10, 137, 1947

David, E., P. Finkenzeller, S. Kallert und W.D. Keidel

Akustischen Reizen zugeordnete Gleichspannungsänderungen am intakten Schädel des Menschen.

Pflügers Arch. 309, 362-367, 1969

Deecke, L., P. Scheid and H. H. Kornhuber

Distribution of Readiness Potential, Pre-motion Positivity and Motor Potential of the Human Cerebral Cortex Preceding Voluntary Finger Movements.

Exp. Brain Res. 7, 158-168, 1969

Deecke, L., H.-G. Englitz and G. Schmitt

Age-Dependence of the Bereitschaftspotential.

Pflügers Archiv, Suppl. to 362, R 39, 1976

Gaarder, K., J. Krauskopf, V. Graf, W. Kropfl and J.C. Armington

Averaged brain activity following saccadic eye movement.

Science, N.Y. 146, 1481-1483, 1964

Giblin, D.R.

Somatosensory evoked potentials in healthy subjects and in patients with lesions of the nervous system.

Ann. N.Y. Acad. Sci. 112, 93, 1964

Gilden, L., H.G. Vaughan, Jr., and L.D. Costa

Summated human EEG potentials with voluntary movement.

Electroenceph. clin. Neurophysiol. 20, 433-438, 1966

Goff, W.R., B.S. Rosner and R. Allison

Distribution of cerebral somatosensory evoked responses in normal man.

Electroenceph. clin. Neurophysiol. 14, 697-713, 1962

Gottschick, J.
Die Leistungen des Nervensystems.
Gustav Fischer-Verlag, Jena 1952

Holst, E. von, und H. Mittelstaedt
Das Reafferenzprinzip.
Naturwissenschaften 37, 464, 1950

Inaba, K. and S. Ishikawa
EMG study of the smooth pursuit movement of the eye in patients
with multiple sclerosis
Jap. J. Ophthalmol. 12, 103-111, 1968

Irwin, A.D., J.R. Knott, D.W. McAdam and C.S. Rebert
Motivational determinants of the "contingent negative variation".
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 21, 538-543, 1966

Jasper, H. and W. Penfield
Electrocorticograms in man: Effect of voluntary movement upon
the electrical activity of the precentral gyrus.
Arch. f. Psychiatrie u. Z. Neurologie 183, 163-174, 1949

Keidel, W.D.
Elektronisches Rechenwerk zur Mittelwertsbildung statistisch
streuender periodischer bioelektrischer Potentiale.
Z. Biol. 111, 54-66, 1959

Keidel, W.D.
The physiological background of the electric response audiometry.
In: Handbook of Sensory Physiology, Vol. V, Part 3
Eds.: Keidel, W.D. and W.D. Neff
Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1976

Keidel, W.D., S. Engelen und R. Rix
Versuch einer systemtheoretischen Erklärung des Alpha-Rhythmus.
Naturwissenschaften 58, 91-93, 1971

Klinke, R., H. Fruhstorfer and P. Finkenzeller
Evoked responses as a function of external and stored information.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 25, 119-122, 1968

Knüfer, C.
Grundzüge der Geschichte des Begriffes "Vorstellung" von Wolff bis Kant.
Georg Olm's Verlag, Hildesheim-New York 1975

Koffka, K.
Zur Analyse der Vorstellungen und ihrer Gesetze.
Quelle und Meyer, Leipzig 1912

Kornhuber, H.H.
Cortex, basal ganglia and cerebellum in motor control.
In: Contemporary Clinical Neurophysiology (EEG Suppl. No. 34)
Eds.: Cobb, W.A. and H. Van Duijn
Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam 1978

Kornhuber, H.H. und L. Deecke
Hirnpotentialänderungen beim Menschen vor und nach Willkürbewegungen, dargestellt mit Magnetbandspeicherung und Rückwärtsanalyse.
Pflügers Archiv 281, 52, 1964

Kornhuber, H.H. und L. Deecke
Hirnpotentialänderungen bei Willkürbewegungen und passiven Bewegungen des Menschen: Bereitschaftspotential und reafferente Potentiale.
Pflügers Arch. 284, 1-17, 1965

Krug, L. and C. Henry
Electrical activity of rolandic region in unanesthetized monkey.
Neurology (Minneap.) 7, 490, 1957

Lullies, H. und D. Trincker
Taschenbuch der Physiologie, Bd. III/2.
Gustav Fischer-Verlag, Stuttgart 1977

McAdam, D.W.

Clinical and laboratory notes: Increases in CNS excitability during negative cortical slow potentials in man.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 26, 216-219, 1969

McAdam, D.W. and D.M. Seales

Clinical and laboratory notes: Bereitschaftspotential enhancement with increased level of motivation.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 27, 73-75, 1969

McCallum, W.C. and W. Grey Walter

The effects of attention and distraction of the contingent negative variation in normal and neurotic subjects.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 25, 319-329, 1968

Rémond, A. and F. Torres

A method of electrode placement with a view to topographical research.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 17, 630-637, 1964

Rémond, A., N. Lesèvre et F. Torres

Etude chrono-topographique de l'activité occipitale moyenne recueillie sur le scalp chez l'homme en relation avec les déplacements du regard.
Rev. Neurol. 113, 193-226, 1965

Rensch, B.

Biophilosophie auf erkenntnistheoretischer Grundlage (Panpsychistischer Identismus).
Gustav Fischer-Verlag, Stuttgart 1968

Robinson, D.A.

The mechanics of human saccadic eye movement.
J. Physiol. (Lond.) 174, 245-264, 1964

Rowland, V. and M. Goldstone

Appetitively conditioned and drive-related bioelectric baseline shift in cat cortex.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 15, 474-485, 1963

Rusinov, V.S.

General and localized alterations in the electroencephalogram during the formation of conditioned reflexes in man.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. Suppl. 13, 309, 1960
(Moscow Coll.)

Scott, D.F. and R.G. Bickford
Electrophysiology studies during scanning and passive eye
movements in human.
Science, N.Y. 155, 101-102, 1967

Scott, D.F., U.C. Groethuysen and R.G. Bickford
Lambda responses in the human electro-encephalogram.
Neurology 17, 770-778, 1967

Scott, D.F. and R.G. Bickford
Stimulus indicators of summated human λ -responses.
Arch. Neurol. 21, 277-284, 1969

Shevets, T.B.
Slow electrical processes in the cerebral cortex of the rabbit.
Conf. Electrophysiol. of Higher Nervous Activity (Russian
abstracts) Moscow, 138, 1958

Shevets, T.B.
Conference on Electrophysiology of Higher Nervous Activity.
Abstracts, Moskau 1958, p. 138. Zitiert nach V.S. Rusinov:
General and localized alterations in the electroencephalogram
during the formation of conditioned reflexes in man.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. Suppl. 13, 309, 1960
(Moscow Coll.).

Taylor, E.H. and W.S. Haughton
Some recent researches on the topography of the convolutions
and fissures of the brain.
Trans. roy. Acad. Med. Ireland 18, 511, 1900

Thomas, J.G.
The dynamics of small saccadic eye movements.
J. Physiol., (Lond.) 200, 109-127, 1969

Uttal, W.R. and L. Cook
Systematics of the evoked somatosensory cortical potential: a
psychophysical-electrophysiological comparison.
Ann. N.Y. Acad. Sci. 112, 60, 1964

Vaughan Jr, H.G., L.D. Costa and W. Ritter
Topography of the human motor potential.
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 25, 1-10, 1968

Walter, W. Grey

The convergence and interaction of visual auditory, and tactile responses in human nonspecific cortex.

Ann. N.Y. Acad. Sci. 112, 320, 1964

Walter, W. Grey

Slow potential waves in the human brain associated with expectancy, attention and decision.

Arch. Psychiat. u. Z. f. d. ges. Neurol. 206, 309-322, 1964

Walter, W. Grey and H.J. Crow

Depth recording from the human brain.

Electroenceph. clin. Neurophysiol. 16, 68-72, 1964

Walter, W. Grey, R. Cooper, V.J. Aldridge and W.C. McCallum

The contingent negative variation: an electro-cortical sign of sensori-motor association in man.

Electroenceph. clin. Neurophysiol. 17, 339-341, 1964

Walter, W. Grey, R. Cooper, V.J. Aldridge, W.C. McCallum and A.L. Winter

Contingent negative variation: an electric sign of sensori-motor association and expectancy in the human brain.

Nature (Lond.) 203, 380-384, 1964

Waszak, M. and W.D. Obrist

Relationship of slow potential changes to response speed and motivation in man.

Electroenceph. clin. Neurophysiol. 27, 113-120, 1969

Weinberg, H. and R. Cooper

Technological contribution: The recognition index: a pattern recognition technique for noisy signals.

Electroenceph. clin. Neurophysiol. 33, 608-613, 1972

Weinberg, H., W. Grey Walter and H.J. Crow

Intracerebral events in humans related to real and imaginary stimuli.

Electroenceph. clin. Neurophysiol. 29, 1-9, 1970

Weinberg, H., W. Grey Walter, R. Cooper and V.J. Aldridge

Emitted cerebral events.

Electroenceph. clin. Neurophysiol. 36, 449-456, 1974

Herrn Professor Dr.med. Wolf D. K e i d e l wird für
die Anregung zur Bearbeitung des Themas,

Herrn Professor Dr.med. Eduard D a v i d für die ste-
te Hilfe bei der experimentellen Durchführung und für
zahlreiche fruchtbare Diskussionen,

allen beteiligten Versuchspersonen, insbesondere auch
dem Engländer Howard B r o u g h t o n und dem Japa-
ner Professor I n o u e , sowie Fräulein Barbara
K i r s c h für ihre große Geduld bei der Durchführung
der Messungen an dieser Stelle aufs herzlichste gedankt.

Dem Ehepaar Karl und Lore B u r i a n bin ich für die
Erstellung der Bebilderung zu besonderem Dank verpflichtet.

Lebenslauf

Am 30. März 1952 wurde ich als drittes und jüngstes Kind des damaligen Privatdozenten Dr.med.Wolf-Dieter Keidel und seiner Ehefrau Dr.med.Ursula Keidel,geb. Ludwig,in Erlangen geboren.1958 bis 1962 besuchte ich die Volksschule(Loschgeschule)in Erlangen.Bis 1971 erfolgte die weitere schulische Ausbildung an dem humanistischen Gymnasium Friedericianum,ebenfalls in Erlangen.Nach Erhalt des Reifezeugnisses Juni 71 und Ableistung eines zweimonatigen Krankenpflegedienstes konnte ich zum Wintersemester 1971 mit dem Studium der Humanmedizin in Freiburg im Breisgau beginnen. Nach Ablegung des Vorphysikums an der Albert-Ludwig Universität in Freiburg führte ich zum Wintersemester 1972 das Medizinstudium an der Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg fort.Nach Absolvierung des Physikums März 74 und der weiteren drei ärztlichen Prüfungen konnte ich dieses im Herbst 1978 an der gleichen Universität abschließen.Das zum Wintersemester 1973 an der Universität Erlangen-Nürnberg begonnene Studium der Psychologie konnte ich nach Absolvierung der Diplomvorprüfung Oktober 75 mit Ablegung der Diplomhauptprüfung drei Jahre später beenden.Nach Erteilung der ärztlichen Approbation bin ich seit Januar 1979 im Rahmen der Weiterbildung zu dem Facharzt für Neurologie und Psychiatrie als Assistent an der Universitäts-Nervenklinik ärztlich wie auch wissenschaftlich tätig.

